



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**“Aprovechamiento de la energía solar fotovoltaica en el Perú”**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Industrial

**AUTOR:**

Villaseca Calle, Práxedes William (ORCID: 0000-0002-6323-9647)

**ASESOR:**

MSc. Ing. Seminario Atarama, Mario Roberto (ORCID: 0000-0002-9210-3650)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Gestión Empresarial y Productiva

PIURA - PERÚ

2020

## Dedicatoria

A Dios, sin El nada es posible.

A mi esposa Isabel; a mis hijas Lidia y Dasha a quienes amo con toda mi alma.

A mi madre que con su amor y dedicación me formo con empatía hacia el prójimo, a mi padre que en vida con sus acciones me enseñó el valor de la justicia y humildad, y desde la eternidad ilumina mi andar.

A mis hermanos a quienes quiero mucho.

## **Agradecimiento**

Agradezco a Dios por permitirme llegar hasta aquí, y confío que me permitirá avanzar mucho más.

A los docentes asesores, que con su orientación ayudaron a no perder de vista la meta establecida.

A la empresa Multiservicios Kieff, por su flexibilidad en el trabajo, fue de mucho apoyo.

A la universidad Cesar Vallejo y a sus docentes por ofrecer sus valiosos conocimientos.

A mi madre, hermanos y hermanas que de una u otra manera estuvieron en el momento justo ayudándome a seguir adelante.

## Índice de Contenidos

<b>Carátula</b> .....	i
<b>Dedicatoria</b> .....	ii
<b>Agradecimiento</b> .....	iii
<b>Índice de contenidos</b> .....	iv
<b>Índice de tablas</b> .....	v
<b>Índice de figuras</b> .....	vi
<b>Lista de abreviaturas utilizadas</b> .....	vii
<b>Resumen</b> .....	ix
<b>Abstract</b> .....	x
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>II. MARCO TEÓRICO</b> .....	4
<b>III. METODOLOGÍA</b> .....	32
3.1. Tipo y diseño de investigación .....	32
3.2. Variable y Operacionalización.....	33
3.3. Población, muestra y muestreo.....	34
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	34
3.5. Procedimientos .....	34
3.6. Métodos de análisis de datos .....	35
3.7. Aspectos éticos .....	35
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	37
<b>V. CONCLUSIONES</b> .....	45
<b>VI. RECOMENDACIONES</b> .....	46
<b>REFERENCIAS</b> .....	47
<b>ANEXOS</b> .....	52

## Índice de tablas

<i>Tabla 1: Masa de aire respecto a la altura solar</i> .....	10
Tabla 2: Variable Operacional. ....	33
Tabla 3: Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	34

## Índice de figuras

Figura 1: Efecto Fotovoltaico.....	9
Figura 2: Energías renovables y no renovables.....	11
Figura 3: Mapa de la radiación solar en el Perú. ....	12
Figura 4: Mapa de la radiación solar en Piura.....	13
Figura 5: Radiación solar directa, difusa y global. ....	13
Figura 6: Faro en la Isla Ogami en Japón.....	14
Figura 7: Paneles solares proveen de electricidad a la Estación espacial Internacional. .	16
Figura 8: Celda monocristalina y celda policristalina (derecha).....	18
Figura 9: Estructura interna de una batería VRLA o AGM.....	20
Figura 10: Controlador PWM- Controlador MPPT. ....	21
Figura 11: Inversor Cargador 5000 24V MPPT 60A Must Solar.....	23
Figura 12: Sistema Fotovoltaico.....	23
Figura 13: Parque solar Chino- La Gran Muralla Solar.....	26
Figura 14: Países líderes en capacidades energéticas renovables 2015. ....	27
Figura 15: estimación de capacidad instalada en Latinoamérica y El Caribe.....	28

## Resumen

El creciente avance poblacional trae problemas de diversa índole, y con ello el reto de cómo solucionarlos. Uno de los problemas es el abastecimiento de energía eléctrica. Muchas actividades que permiten al ser humano desarrollarse en diferentes aspectos como son: Económico, laboral, profesional, tecnológico, social entre otros, dependen directa o indirectamente de la energía eléctrica. Se calcula que para el 2050 la población mundial alcanzaría los 9.000 millones de habitantes con lo que la demanda de energía eléctrica se elevaría a 46 TW en comparación con los 13 TW consumidos en la actualidad. El Perú cuenta entre su población con familias que no pueden acceder a este servicio básico, según el INEI en el año 2016 a nivel nacional el acceso a la energía era de 91.6% y en el departamento de Piura llegaba 89.3% dejando un 10.7% esperando por el servicio básico. En tal sentido el presente estudio es una revisión de documentos que apoyan el uso de la tecnología fotovoltaica, que tiene el potencial de convertirse en el futuro de la generación eléctrica. Por su metodología, la investigación realizada es de tipo documental y de diseño bibliográfica, debido a que el autor recopila información de diversas fuentes escritas. Se pudo encontrar que la tecnología estudiada, desde sus inicios en aplicaciones aeroespaciales hasta grandes centrales eléctricas en la actualidad, tiene el potencial de ser la energía del futuro, y que llegue a serlo depende de que las autoridades, casas de estudio y organizaciones relacionadas se comprometan fielmente a estudiar, promover y potenciar sus beneficios.

Palabras clave: Energía solar, sistema fotovoltaico, parque solar, electricidad

## **Abstract**

The increasing population advance brings problems of various kinds, and with it the challenge of how to solve them. One of the problems is the supply of electrical energy. Many activities that allow the human being to develop in different aspects such as: Economic, labor, professional, technological, social, among others, depend directly or indirectly on electrical energy. It is estimated that by 2050 the world population would reach 9,000 million inhabitants, bringing the demand for electrical energy to 46 TW compared to the 13 TW consumed today. Peru has among its population families that cannot access this basic service, according to the INEI in 2016, nationally, access to energy was 91.6% and in the department of Piura 89.3% arrived, leaving 10.7% waiting for basic service. In this sense, this study is a review of documents that support the use of photovoltaic technology, which has the potential to become the future of generation electric. Due to its methodology, the research carried out is documentary and bibliographic in design, since the author collects information from various written sources. It was found that the technology studied, from its beginnings in aerospace applications to large power plants today, has the potential to be the energy of the future, and that it becomes so depends on the authorities, study houses and related organizations faithfully commit to study, promote and enhance its benefits.

Keywords: Solar energy, photovoltaic systems, solar park, electricity

## I. INTRODUCCIÓN

La especie humana ha buscado y se ha dado formas de evolucionar desde tiempos contables con miles de años, y posicionarse como la especie dominante sobre toda la superficie de la tierra, en el último siglo esa evolución tuvo una notoriedad significativa, y se debió a muchos descubrimientos tecnológicos y científicos, entre esos descubrimientos importantes está la energía eléctrica, y la manera de cómo generarla, que, es la que ha permitido que el hombre en los últimos 200 años alcance niveles de desarrollo nunca antes vistos. A pesar de todo este avance tecnológico en el rubro eléctrico, existen hoy en día en distintos países alrededor del mundo grandes zonas, en las que personas y comunidades aún no cuentan con este servicio, que es catalogado como esencial para el desarrollo humano, Gurevich (2013), respecto a datos del Departamento de Energía de los EE.UU, menciona que, la cantidad de energía que el mundo consume asciende a 13 TW; y teniendo en cuenta que las proyecciones hechas, calculan que para el año 2050 la cantidad de la población mundial alcanzaría los 9.000 millones, la cantidad de demanda se elevaría a 36 TW y a 46 TW para finales del siglo respectivamente, aun cuando se consuma de manera eficiente. Lo dicho anteriormente representa ya un problema y se podría agudizar a futuro si no se toman acciones para compensar la dependencia de los hidrocarburos.

El Perú no ha sido ajeno a esta evolución, y sólo a finales del siglo anterior, a raíz de la llegada de la revolución industrial, la demanda de energía eléctrica ha ido en aumento, sumado al industrial, está el consumo doméstico masivo de electricidad, también propiciado por los avances tecnológicos, ya que, hoy en día muchos dispositivos electrónicos que hace 40 años no existían, se han sumado al insaciable consumo de energía, una muestra de ello son los teléfonos móviles, y que, en el mundo los hay por millones. El acceso a la electricidad es un problema que no termina por resolverse en el país, INEI (2017), el instituto menciona, que, existen muchos hogares que no cuentan con servicio eléctrico o en su defecto pagan tarifas elevadas por dicho bien, para el año 2016 el 91.6% de las viviendas contaba con electricidad, y a nivel de regiones la costa tenía 95.5% de acceso al servicio, la sierra el 88.7% y la selva 82%. Por su parte el departamento de Piura con el 89.3%

de viviendas con acceso al servicio eléctrico, deja fuera a un 10.7% privados de este servicio básico (p. 31)

Si bien es cierto, en las últimas tres décadas el Perú ha presentado mejoras considerables en electricidad a comparación a los años que le anteceden, aún no se llega al nivel deseado, pues el progreso alcanzado en el rubro, dieron lugar a que se desarrollaran nuevas industrias que anteriormente no existían, las cuales demandan de grandes cantidades de electricidad para poder operar. (OSINERGMIN, 2017), la cobertura de electricidad nacional paso del 69.8% en el año 2001 al 92% para el año 2014, mientras que en zonas rurales la cobertura fue de 24.4% y 75.2% para los mismos periodos, se espera llegar al 100% de cobertura en el corto o mediano plazo (p. 11)

En el Perú, la obtención de energía eléctrica proviene principalmente de centrales hidroeléctricas y centrales generadoras a partir de la quema de combustibles fósiles, estas últimas producen un alto nivel de contaminación, producto de la quema del combustible, los cuales son responsables del muy conocido y temido efecto invernadero y calentamiento global. La Primera Conferencia Mundial sobre el Cambio Climático en el año 1979, organizada por la Organización Meteorológica Mundial (WMO, por sus siglas en inglés), mencionado IPCC Secretarie (2004), hace referencia a la preocupación respecto a que la continua expansión de las actividades humanas en la tierra pueda causar cambios climáticos significantes en regiones extensas e incluso globalmente (p. 2).

La humanidad está obligada a buscar e implementar nuevas maneras para hacerse de energía eléctrica que sean eficiente, de bajo costo, sostenible en el tiempo y amigable con el ambiente, para así dejar la dependencia de los combustibles fósiles por el gran daño ocasionan al planeta y a quiénes lo habitan. En ese sentido, la búsqueda por nuevas energías ecológicamente limpias se ha ido intensificando en las últimas décadas, dando como resultado avances significativos, pero aún insuficientes para garantizar la demanda global de energía.

Alrededor del mundo, ya se ha comenzado a utilizar sistemas fotovoltaicos para la generación de energía eléctrica en cantidades considerables, por medio de grandes parques solares fotovoltaicos, con el fin de paliar la necesidad de electricidad,

reducir costos y mejorar su obtención. Los principales productores de esta forma de captación de electricidad son: China, India, EE. UU, Japón, Alemania, España e Italia, además de otros países, pero en menor capacidad. El Perú por su parte también cuenta con parques solares, que produce electricidad en cantidades aún modestas. La central solar Rubí, en Moquegua, la más grande del Perú, posee una potencia instalada de 180 MW, mientras que la central Tengger Desert Solar Park, más conocida como "La Gran Muralla China del Sol", que hasta hace poco la más grande del mundo, alcanza los 1547 MW. Recientemente se ha culminado en marzo de 2020 una nueva central fotovoltaica en India, la misma que le arrebató el primer puesto a "La Gran Muralla del Sol China", se trata del parque Bhadla en Rajasthan y cuenta con 2245 MW de potencia instalada.

Se revisó el acervo documental proveniente de diversas fuentes especializadas en el tema materia de estudio, como son libros, artículos científicos, tesis de grado, entre otros; los cuales estudian el efecto fotovoltaico, orígenes de la industria fotovoltaica, primeras aplicaciones, avances tecnológicos, diversificación de su aprovechamiento y otros temas relacionados.

Para desarrollar de la presente investigación se procede a exponer las siguientes interrogantes: ¿Cómo se describe el aprovechamiento de la energía solar fotovoltaica en el Perú?, ¿Cuál es el estado del arte de la energía solar fotovoltaica?, ¿Cuál es el estado actual de la tecnología fotovoltaica?, ¿Cuáles son los factores que limitan el uso masivo de la energía solar fotovoltaica en el Perú?, la justificación que el autor se planteó en el trabajo materia de estudio se sustenta en el aspecto teórico, en el sentido de valerse de la suficiente cantidad de datos disponibles de diferentes fuentes y que refuerzan en cierto modo la experiencia propia del autor en el tema y de esa manera aportar información a futuros investigadores que se inclinen a esta área de la generación eléctrica. Tiene justificación económica, por la estrecha relación existente entre generación eléctrica y las actividades comerciales e industriales que, como sabemos una lleva a la otra y con la masificación de la empleabilidad de la energía del sol fotovoltaica, se considera que se abrirá un mercado mucho más grande y rentable del que ahora lo es. La justificación tecnológica, es un punto que no se pudo dejar de lado por la naturaleza del tema, la energía solar fotovoltaica está muy ligada a la tecnología y

depende del avance de esta y sus nuevos descubrimientos, formas innovadoras para hacer más eficiente la generación, a partir del descubrimiento e invención de materiales más sensibles, el efecto fotoeléctrico. El aspecto social, es la justificación para la perspectiva del autor, más importante, debido a que, la finalidad de todo el avance y descubrimientos que la humanidad ha realizado ha sido, para ser aprovechado en bien de la sociedad que formamos parte. La justificación ambiental se hace necesaria, más aún, en los tiempos en los que el cambio climático está mostrando a la humanidad los efectos de los años en los que el hombre utilizó de manera indiscriminada e irresponsable los recursos de la tierra, especialmente los combustibles de origen fosilizados para la generación de electricidad y, que, de cierta forma, se pueden paliar haciendo uso de la energía solar. El objetivo general propuesto en la presente investigación es, describir el aprovechamiento de la energía solar fotovoltaica en el Perú, y objetivos específicos, describir el estado del arte de la energía solar fotovoltaica, definir el estado actual de la tecnología fotovoltaica, describir los factores que limitan el uso masivo de la energía solar fotovoltaica en el Perú.

## **II. MARCO TEÓRICO**

La recopilación de estudios y teorías semejantes, que ayuden a enmarcar y dar sustentabilidad a una investigación es muy importante, en el presente trabajo se ha tenido en cuenta lo antes mencionado y se han recolectado los siguientes trabajos previos. Arévalo et al. (2019, p.39), en su trabajo de investigación realizado en el distrito de Tarapoto en San Martín, en el cual diseña un sistema fotovoltaico para generar electricidad en vivienda unifamiliar. concluyó que la radiación diaria, tomando de referencia al mes más fresco del año alcanzaba la cifra de 4.221 kWh/m<sup>2</sup>, por su parte, Cieza (2017), para su proyecto de tesis, en el cual dimensiona un sistema fotovoltaico destinado a abastecer el alumbrado en el hostal Lancelot de la ciudad de Chiclayo en Lambayeque y con el cual obtiene el título de ingeniero mecánico eléctrico, determina que la potencia eléctrica requerida y el número de horas de utilización para el sistema de alumbrado del Hostal Lancelot, es de 2,48Kw haciendo uso en promedio al día de 7 horas, obteniendo una energía de 17,39

KWh/día, en el estudio se utilizó una investigación del tipo aplicada descriptiva. En el artículo de estudio, referido a un sistema fotovoltaico conectado red, Díaz et al (2012), manifiesta para su conclusión, que es factible la instalación del sistema fotovoltaico conectado a red, tanto en el factor económico, energético y ambiental, llegando a cubrir la totalidad de la demanda e inyectando el excedente a la red pública de electricidad. Por otro lado, pudo constatar la importancia de la radiación solar, como un factor esencial en el aprovechamiento de la energía (p. 11).

Villalobos (2014), en su tesis realizada para alcanzar el grado de master en ciencias ingeniería mecánica y eléctrica con mención en energía, asegura que el plan maestro logrará dotar a comunidades rurales con electricidad sustentable, aprovechando la energía fotovoltaica con lo que a su vez se podrá reducir las emisiones de gases contaminantes a la atmosfera, mejorando la calidad de vida de sus habitantes. En total son 127 localidades las que se beneficiarían con el proyecto, con un total de 2006 instalaciones. La inversión es de S/. 12 116 870,28 Nuevos Soles en total. Para Gonzales, et al (2014), para su proyecto de tesis titulado “Estudio, diseño e implementación de un sistema de energía solar en la comuna Puerto Roma de la isla Mondragón del golfo de Guayaquil, provincia de Guayas” para la obtención del título de ingeniero eléctrico en la Universidad Politécnica Salesiana, menciona en uno de sus objetivos, diseñar e implementar un sistema de energía solar (paneles fotovoltaicos) que permitan obtener energía eléctrica para suplir las necesidades básicas, para lo cual se desarrolló el proyecto, permitiendo hacer la conclusión, de que es posible implementar un sistema de utilización de energía solar en una comuna de la localidad. Mientras que Jara (2018), para su proyecto de tesis titulado “Implementación de energía fotovoltaica para optimizar el costo por consumo de energía eléctrica en edificio multifamiliar del distrito de Baños del Inca Cajamarca” con el afán de obtener el título profesional de ingeniero mecánico electricista en la Universidad Cesar Vallejo, menciona en el objetivo específico número 5 de su investigación, Determinar la factibilidad económica del sistema propuesto, para lo cual realiza una investigación del tipo aplicada, no experimental, y el autor concluye para su objetivo específico que el 67.14% de la inversión corresponde a banco de baterías (constituida por baterías de descarga profunda).

Según el autor, el proyecto técnicamente sí es viable, pero financieramente no lo es, considerando una tasa de retorno de 6.56% con periodo de (20) años, que dio como resultado:

- VAN (sin CO<sub>2</sub>) = S/ – 33483.77,
- VAN (con CO<sub>2</sub>) = S/ – 22546.03 y
- TIR = 4.03%.

Este proyecto solo sería posible si el inversionista considera una tasa de retorno inferior al 4%.

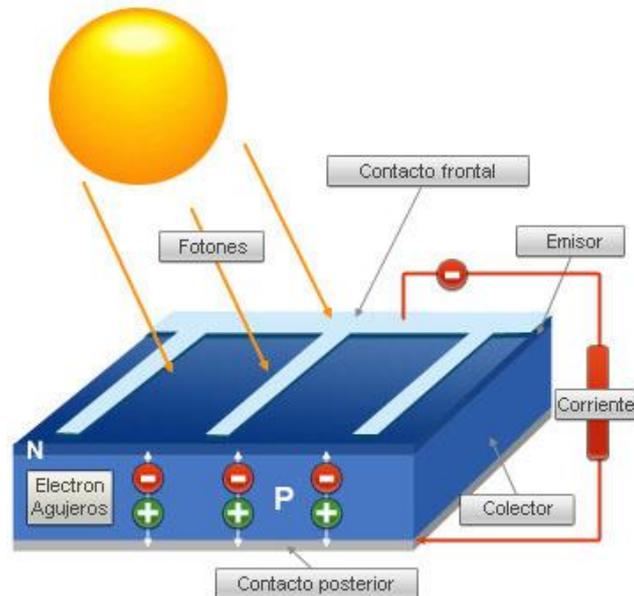
Por último, se determinó que producir un KWh con un sistema solar fotovoltaico resulta más elevado que comprarlo al proveedor de servicio público de electricidad, por una diferencia de 1.217 ctm. S/. KW.h. de acuerdo con las estimaciones realizadas en este estudio. En el artículo científico dedicado al calentamiento global, Power (2009), concluye que la aplicación de tecnologías limpias autosustentables y energéticamente eficientes, brindan ventaja económica, además, advierte que el balance entre el crecimiento poblacional y la posibilidad para cubrir la demanda se verá afectada si se depende únicamente de combustibles convencionales, siendo necesario desarrollar nuevas alternativas de generación eléctrica lo antes posible (p. 22). Por su parte, Sánchez (2017), en su proyecto de tesis titulado “Diseño de un suministro eléctrico con energía solar fotovoltaica para mejorar la productividad de equipos de bombeo agrícola del establo GESA - Lambayeque, 2016”, se propone abastecer de electricidad al establo GESA con paneles solares y, esto aumentaría la producción agrícola. Después de llevar a cabo la investigación que es de tipo y diseño aplicada pre-experimental concluye que existen más formas de generar electricidad no convencional, sin embargo, se logró el objetivo de electrificar la bomba del establo usando paneles solares, esto beneficia al establo, mejorando su producción. En otro estudio, Pérez (2016, p. 45), en su tesis denominada “Diseño de un sistema fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica al anexo Piedras Coloradas, Cajamarca, 2016”, se plantea como objetivo específico evaluar económicamente el proyecto a diseñar, para el cual llega a la conclusión que el diseño es rentable y además viable teniendo como base el cálculo del VAN y el TIR, el cual lo proyecta a cinco años, teniendo presente el plazo otorgado por el crédito financiero y que muestra las inversiones después de la inicial, especificando los gastos de operación y mantenimiento, en el que el VAN

resultante es igual a S/. 489.14 y el TIR es igual a 13.65%. Castro (2019), en su trabajo de investigación realizado para obtener el título de Ingeniero Mecánico Electricista, denominado “Diseño de un sistema fotovoltaico para abastecer la demanda de energía eléctrica a la granja avícola San Jorge para reducir los costos de combustible en el Caserío Uña de Gato Jaén”, se plantea el objetivo de determinar la demanda de electricidad en la granja avícola, concluye que la empresa avícola cuenta con cinco galpones que en conjunto tienen una demanda de 3.51 Kwh/día, además tiene una electrobomba que consume 15 Kwh/día, considerando que al día la electrobomba trabaja tres horas, mientras que la planta de proceso la cual trabaja lunes miércoles y viernes con un registro de consumo de 149.26 Kwh/día y para los días martes, jueves y sábado el consumo diario respectivo es de 142.52 Kwh/día. En otras investigaciones, Prieto (2018, p. 291), en el artículo de investigación respecto al Diseño de Vivienda Rural Autosustentable, implementando sistema fotovoltaico, además de otras tecnologías de energía renovables, entre las conclusiones menciona que el uso de energías alternas, para reducir el consumo energético de las viviendas mediante paneles solares, energía eólica, estufa ecoeficiente, colector solar y aplicaciones de control mediante el uso del PLC genera un óptimo ahorro de energía. Para Vásquez y Gamio (2018, p. 26), en las conclusiones del artículo Transición Energética Con Energías Renovables Para La Seguridad Energética En El Perú: Una Propuesta De Política Pública Resiliente Al Clima afirman que, el Perú posee un enorme potencial energético por medio de la utilización de recursos renovables para generar electricidad y, una quinta subasta de RER debería realizarse en un pronto plazo para poder cumplir con el aumento de la demanda a partir del año 2022 y elevar el porcentaje de cooperación de tecnologías ambientalmente limpias 15% al 2025 y trabajar en la meta para que al año 2040 se alcance el 40% de la generación eléctrica del mercado con RER, preparando el camino hacia una cobertura sobre la demanda de energía cercana al 100% para el año 2050. En otra conclusión referente al mismo estudio señalan que el promedio registrado de energía solar en el Perú es de 5,5 Kwh/m<sup>2</sup> y nuestra geografía la cual es compleja en su forma, otorga la posibilidad para desarrollar distintos métodos de generación de energía de acuerdo a los beneficios que cada región presenta, es así que en la selva podría desarrollarse la solar y biomasa, en el norte aprovechar los vientos del extenso

desierto para la energía eólica, por el sur la captación de energía solar, por su parte en la sierra se puede aprovechar la biomasa, solar además de la hidráulica.

Para enmarcar el presente proyecto de investigación por su naturaleza documental, se ha recurrido a distintas fuentes con la finalidad de manejar información suficiente y de calidad que permita un análisis adecuado del tema. Cabe mencionar que al respecto existe gran cantidad de bibliografía, pero se empezará por un concepto básico y muy importante para el presente trabajo de investigación. La **Energía**, según el colectivo PROGENSA (2009), precisa que, es una magnitud que mide la capacidad que, en un momento determinado posee un ente físico para producir trabajo, esto es para hacer posible que entren en juego unas fuerzas, las cuales, al desplazar los puntos, puedan realizar un trabajo físico (p. 18), a su vez Para Chávez y Malaver (2007, p. 7), Energía es la propiedad de todo cuerpo o sistema material o no material que puede transformarse modificando su situación o estado. La energía tiene la capacidad de producir o crear trabajo de diversas maneras como calor, movimiento, luz, etc. En ese sentido la energía en forma de luz para nuestro caso en particular y en la cual nos centraremos por la naturaleza del estudio la obtenemos del sol y a la cual se llama energía solar y llega a nuestro planeta en forma de radiación solar que según Bernardelli (2010), es la energía emitida por la superficie del sol que se propaga en todas direcciones mediante ondas electromagnéticas proporcionadas por las reacciones del hidrogeno en el núcleo durante la fusión (p. 10). Esta radiación proveniente de nuestra estrella penetra en la atmosfera terrestre y es responsable de muchos fenómenos naturales indispensables para todo tipo de vida sobre el planeta, como la fotosíntesis, es responsable también de que se formen las mareas en los océanos, entre otros fenómenos que dependen de la energía solar. La energía posee la característica muy especial y consiste en que no se puede crear ni destruir, pero si transformar. La luz solar es una forma de energía y se transforma para producir energía eléctrica, la que es posible gracias al efecto fotovoltaico, y como lo menciona Tejada (2018) consiste en la conversión de la luz en electricidad, este proceso se consigue mediante materiales que tienen la propiedad de absorber fotones y generar electrones en la banda de conducción (células fotovoltaicas), (p. 20). A su vez PROGENSA (2009) expresa Fenómeno por el que los fotones, incidiendo sobre determinados materiales y en condiciones apropiadas, pueden generar una

diferencia de potencial o voltaje susceptible de mantener una corriente eléctrica. Este efecto se representa en la figura 1.



**Figura 1:** Efecto Fotovoltaico.

Fuente: <https://gasnaturaltecnico.blogspot.com/2017/08/celula-fotovoltaica.html>

Según diversos estudios y mediciones Salamanca (2017), la cantidad de energía capaz de irradiar el sol es de  $3.8 \times 10^{23}$  Kw, de los cuales aproximadamente  $1.8 \times 10^{14}$  son interceptados por nuestro planeta, (p. 2), una gran cantidad de esta energía se pierde debido a condiciones atmosféricas presentes en el planeta, se pierde en forma de dispersión, también por reflexión de igual manera es absorbida por las nubes, aun así, Nathan S. Lewis, et al (2007) menciona en el artículo hacia un uso rentable de la energía solar: que más energía de la luz solar incide en la Tierra en 1 hora que toda la energía consumida por los humanos en todo un año. De hecho, el recurso de energía solar eclipsa todos los demás recursos energéticos renovables y fósiles combinados (p. 2). Algunos términos relacionados con energía eléctrica se mencionan a continuación. Voltio, unidad que deriva y forma parte del sistema internacional, es utilizado para expresar potencial eléctrico, la tensión eléctrica y la fuerza con que se mueven los electrones, el símbolo que se utiliza para representarlo es (V). El Amperio (A), en honor al físico – matemático Francés André Marie Ampère, mide la intensidad de corriente eléctrica y es parte del sistema

internacional de unidades. La unidad métrica de potencia y flujo térmico del Sistema Internacional de Unidades (SI); definido como la potencia con la capacidad de realizar un trabajo de un Julio en un segundo, su símbolo (W) Watt o Vatio en español. Vatio hora (Wh) es la unidad de energía eléctrica o trabajo y da a entender que es la energía con la capacidad de sostener una potencia en un tiempo determinado. Vatio pico (Wp), es la unidad métrica para potencia del panel solar y se refiere a la cantidad máxima (pico) capaz de generar bajo condiciones estándar de irradiancia la cual se establece en  $1000 \text{ W/m}^2$  a una temperatura de  $25^\circ\text{C}$  y masa de aire 1.5. El autor Perpiñán (2018), respecto a Masa de aire (AM Air Mass), lo define como la relación entre el camino recorrido por los rayos directos del Sol a través de la atmósfera hasta la superficie receptora y el que recorrerían en caso de incidencia vertical, (p. 26), la distancia varía con la altura del sol, cuando este incide de manera vertical ( $90^\circ$ ) al punto elegido se tendrá un  $AM = 1$ . El índice de AM para la zona externa a la atmósfera es de 0, en la siguiente tabla se detalla la masa de aire para distintas alturas solares.

*Tabla 1: Masa de aire respecto a la altura solar.*

AM	1	1,5	2	3	4	5	6
Altura Solar	$90^\circ$	$42^\circ$	$30^\circ$	$20^\circ$	$14,5^\circ$	$11,5^\circ$	$9,6^\circ$

Fuente: Elaboración propia.

Perpiñán (2018), la Irradiancia Solar definida como la densidad de flujo radiante solar y parte de esta es interceptada por el planeta, distintas campañas han obtenido valores distintos para la constante solar de la atmósfera exterior, pero se acepta para representar el valor promedio de  $1367 \text{ W/m}^2$ . Se conocen varias formas de energía, pero se mencionan algunas: Energía Mecánica, este tipo de energía está asociada a al movimiento de masa (cinética), Energía Eléctrica, la cual se asocia al fluido de carga eléctrica o a la acumulación de la misma, Energía Electromagnética, este tipo de energía no se asocia a la materia, pero si, a la propagación de la radiación electromagnética, Energía Térmica, se asocia a los estados que genera el movimiento de átomos o moléculas que forman la materia. La energía solar, que es muy importante en el contexto del estudio a realizarse, es alternativa que en los últimos años se toma muy en cuenta como escape al uso monopolizado de energías contaminantes que en su mayoría provienen de

combustibles fósiles, es la luz que llega a la tierra proveniente del sol (radiación solar) y que da origen a la mayoría de energías renovables que se encuentran en el planeta que junto a la solar son: eólica, hidráulica entre otras y en ese sentido Roldan (2013) señala que las energías que proceden del Sol son las que producen los fenómenos atmosféricos del viento (energía eólica), el ciclo del agua (energía hidráulica) y la fotosíntesis en las plantas y las mareas y olas en los mares (p.19). en la siguiente figura se muestra las energías renovables y no renovables.

Energías no renovables	Energías renovables
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Carbón</li> <li>- Petróleo</li> <li>- Gas natural</li> <li>- Nuclear</li> <li>- Química</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Solar (calor y luz)               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Paneles térmicos (calor)</li> <li>• Módulos fotoeléctricos (electricidad)</li> </ul> </li> <li>- Eólica (viento)</li> <li>- Hidráulica (agua)</li> <li>- Biomasa</li> <li>- Geotérmica</li> </ul>
<p>Estas energías no se renuevan, se agotan con el consumo y el paso del tiempo.</p>	<p>Estas energías se renuevan, y por tanto, no se agotan con su aprovechamiento o el paso del tiempo.</p>

*Figura 2: Energías renovables y no renovables.  
Fuente: Libro instalaciones solares fotovoltaicas.*

El Perú al encontrarse situado geográficamente muy cerca de la línea ecuatorial se convierte en sitio estratégico y privilegiado para aprovechar la radiación solar y mediante el uso de los instrumentos adecuados convertir esa radiación en electricidad, la cual es ampliamente utilizada para distintas actividades tanto domesticas como industriales. La región Piura al igual que gran parte del país es muy favorecida por la radiación solar debido a que se ubica cerca de la línea del ecuador. Según el Atlas Solar del Perú elaborado por el Ministerio de Energía y Minas (MEM), nuestro país es poseedor de un elevado índice de irradiación solar, Atlas de energía solar del Perú (2003), Potencia solar incidente en una superficie por unidad de área, sus unidades son W/m<sup>2</sup> (p. 11), según los resultados obtenidos

para en territorio nacional, la radiación anual se da de la siguiente manera: para la costa sur (16° a 18° S) es de 6,0 a 6,5 kW h/m<sup>2</sup> ocupando la zona de mayor potencial energía solar, la costa norte (3 a 8° S) por su parte con 5,5 a 6,0 kW h/m<sup>2</sup> de energía solar al día muestra una cantidad elevada al igual que muchas zonas de la sierra por encima de los 2500 msnm, en la selva la cantidad de energía es inferior a las anteriores con valores entre 4,5 a 5,0 kW h/m<sup>2</sup> con una zona de mínimos valores en el extremo norte cerca del ecuador ( 0° a 2° S) (p. 20)



*Figura 3: Mapa de la radiación solar en el Perú.  
Fuente: SENAMHI.*

En la figura 4, que a continuación se muestra se observa los índices de radiación solar para el departamento de Piura.

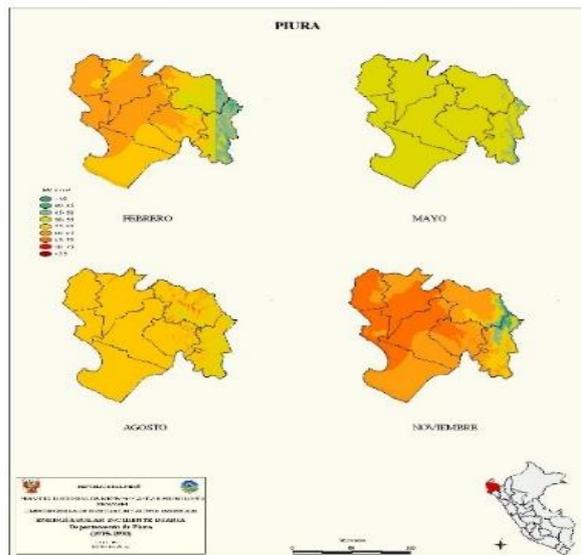


Figura 4: Mapa de la radiación solar en Piura.  
Fuente: SENAMHI.

En referencia a la Energía Solar Directa y Energía Solar Difusa PROGENSA (2009) menciona que, la energía que llega procedente del sol como la radiación solar, y está formada por dos tipos de radiación, que a su vez dan origen a una tercera forma llamada radiación global, para una mejor ilustración de estas teorías obsérvese la figura 5. Estas formas de irradiación se denominan directa y difusa. Es directa porque llega a la tierra en línea recta desde el sol, por su parte se dice que es difusa porque antes de llegar a la superficie terrestre es reflejada por las nubes, humo presente en el ambiente y polvo. (p.31).

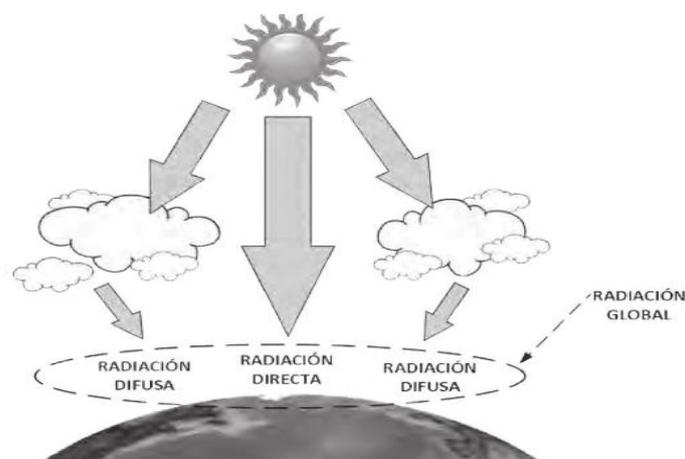


Figura 5: Radiación solar directa, difusa y global.  
Fuente: Energía Solar Autónoma.

La célula solar es la responsable de capturar la luminosidad solar (Fotones), para después convertirla en electricidad en forma de corriente directa o continua (CD). Ha tenido que pasar 50 años aproximadamente desde que se descubrió la manera de convertir luz solar en energía eléctrica. El autor Roldan (2013), señala que en 1832 el francés Alexandre Edmond Becquerel descubre el efecto fotovoltaico a causa de la luz solar y años más tarde en 1873, Willoughby Smith de origen inglés descubriría el efecto fotovoltaico en sólidos, la primera célula fotovoltaica la crearon en 1877 Willian Grylls Adam y Richard Evans Day, pasaron muchos años y en 1954 en EE.UU se construye el primer módulo fotovoltaico en las instalaciones del laboratorio de la compañía Bell, se había dado un gran paso en la generación de electricidad a partir de la luminosidad solar. Comienzan las primeras aplicaciones en la industria espacial, por aquel entonces en pleno auge, es así, que lanzan el primer satélite equipado con paneles solares para su abastecimiento de energía en 1958 (p. 94). Para el año de 1980 se daría inicio a la fabricación de paneles solares para ser utilizados en distintas aplicaciones, entre ellas para energizar viviendas aisladas y para la construcción de plantas generadoras de electricidad. RJ Consultores (2018), 1966 marca un hito muy importante y sin precedentes para las aplicaciones de energía fotovoltaica en la tierra, en la ciudad de Ogami en Japón, se sustituyó la antorcha a gas que iluminaba el faro por paneles solares (Figura 6) siendo la primera aplicación comercial para este tipo de generación de electricidad, tal cambio se describe como un hecho crucial que demuestra el potencial y viabilidad de esta fuente de energía.

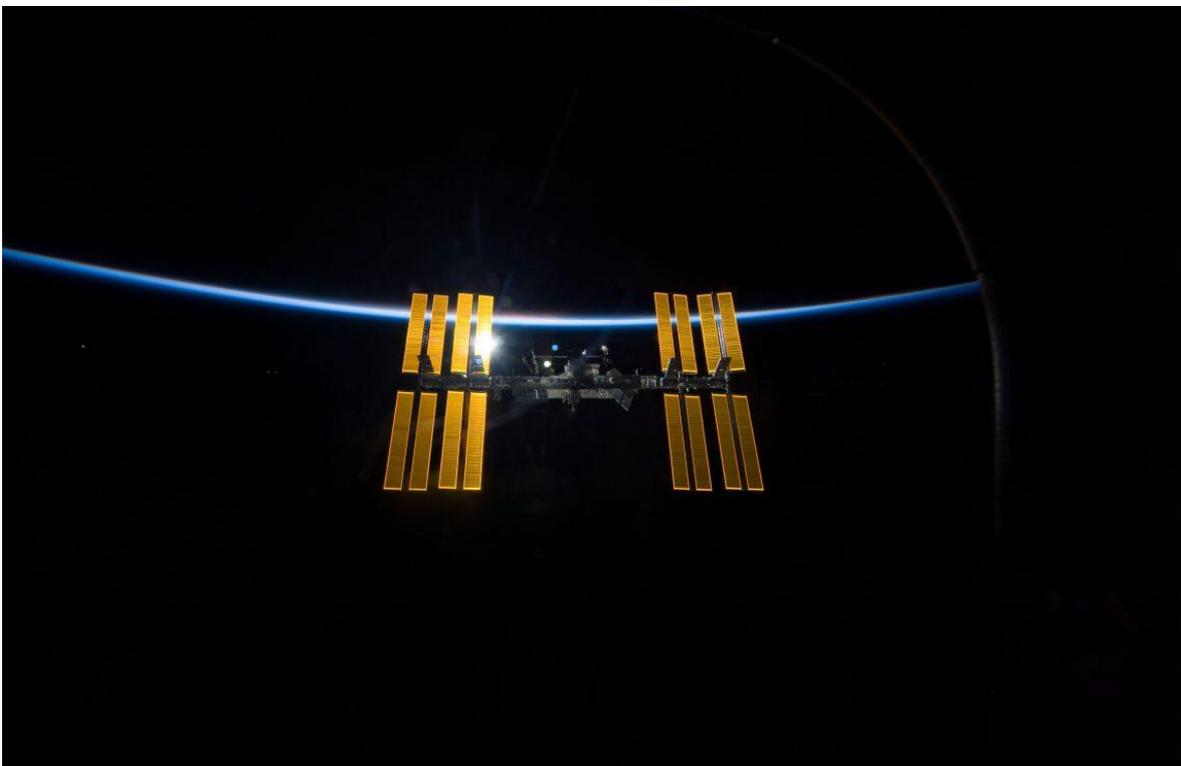


*Figura 6: Faro en la Isla Ogami en Japón.*

*Fuente: <https://energíafotovoltaicapuebla.weebly.com/updates>.*

Si bien es cierto se había dado inicio a una nueva revolución tecnológica en el arte de generar energía eléctrica, el costo de producción era demasiado alto, con un valor, alrededor de los 100 dólares por vatio, que lo hacía inalcanzable para llegar a ser consumido en masa, es por ello que sus aplicaciones estaban dirigidas principalmente al desarrollo aeroespacial, los países (en ese momento EE.UU y la URSS) estaban dispuestos a pagar enormes cantidades de dinero y obtener las células fotovoltaicas con las mejores características de ese entonces. En el mismo sentido Salazar et al. (2016) hace referencia a la disputa entre la URSS y los EE. UU para liderar la industria aeroespacial. Un año después que la URSS puso en órbita el primer satélite, el Sputnik 1 (1957), EE. UU enviaba el Vanguard 1, la primera nave espacial provisto de paneles solares, la nueva tecnología permitió al satélite seguir transmitiendo por siete años a pesar que las baterías de origen químico se agotaron en apenas 20 días. Posteriormente la competencia por conquistar el espacio, entre las dos principales potencias aeroespaciales continuaría y con ello la evolución de la tecnología fotovoltaica, a pesar de existir cierta desconfianza en la utilización de paneles solares, lo cierto es que en la práctica, habían demostrado ser un gran éxito, y su utilización en los nuevos satélites fueron pronto incorporados, para 1962 se incorpora en el satélite telstar, células fotovoltaicas capaces de generar 14W de potencia, hecho que anima diferentes gobiernos a invertir en la investigación y mejorar la joven tecnología, la inclinación por el uso de células solares a base de Arseniuro de Galio (GaAs) se daría de manera progresiva, por demostrar mejor rendimiento que las de silicio. Los avances y descubrimientos continuaron, la Unión Soviética con Zhorés Alfiórov al mando del equipo de investigación, desarrollan con éxito una nueva célula solar de eficiencia muy alta, con heteroestructura de Arseniuro de Galio. En los años posteriores, la tendencia hacia la utilización de celdas solares continuaron, la NASA y el Departamento de Energía de los Estados Unidos en 1979, plantean un ambicioso proyecto que consistía en generar electricidad en el espacio para el abastecimiento terrestre; el plan consistía en poner en órbita varios satélites con medidas de 5 x 10 Km que producirían alrededor de 5 y 10 GW, el monumental proyecto dejaba de lado las dificultades técnicas en una época que se proyectaba a la conquista del espacio exterior con la creación de enormes ciudades espaciales,

el proyecto se canceló a mediados de 1980 en parte a que el precio del petróleo bajo y los costos del proyecto eran exorbitantes. Muchos proyectos espaciales continúan usando paneles solares, por ejemplo, el Telescopio Hubble, las sondas Magallanes, la Estación Espacial Internacional (figura 7), Spirits y Opportunity. Últimamente uno de los más ambiciosos proyectos espaciales, se vale de paneles solares, es el caso de la sonda espacial Rosetta, lanzada en 2004 para estudiar un cometa que orbita distancias muy lejanas del sol como el planeta júpiter, y los estudios para dotar de sistemas fotovoltaicos a naves que exploren el espacio más allá de júpiter continúan en la actualidad.



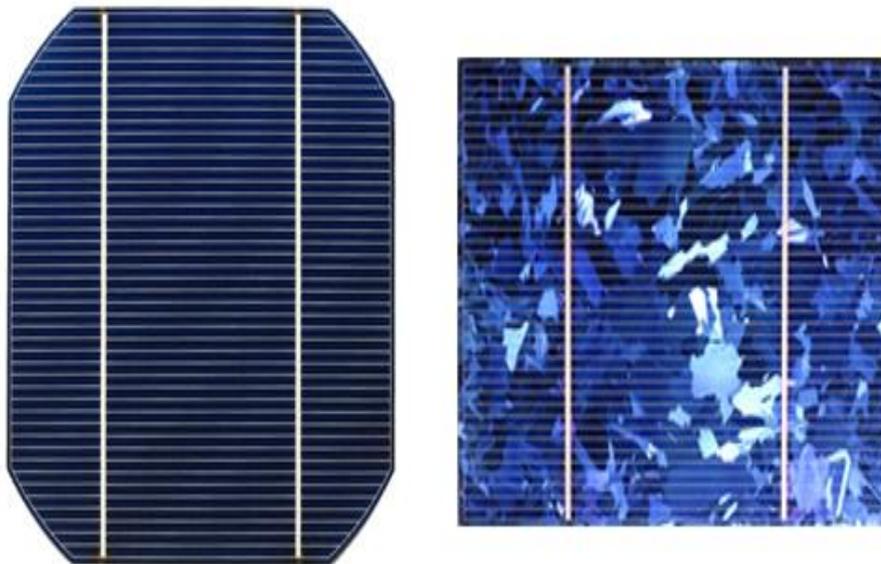
*Figura 7: Paneles solares proveen de electricidad a la Estación espacial Internacional.*

Fuente: <https://www.rjconsultores.es/energja-solar-fotovoltaica/>

Para lograr el propósito de obtener electricidad mediante el aprovechamiento de la radiación del sol es necesario contar con los equipos que se encargaran de realizar todo el proceso de transformación de la energía. Entre los equipos involucrados en este proceso y por su función, el más importante, se tiene, al Módulo Solar Fotovoltaico o comúnmente conocido como Panel Solar es el encargado de

capturar los rayos de luz que el sol irradia convirtiéndola en electricidad en forma de corriente continua o directa (CD), para lograrlo, estas células están hechas de un material especial y muy abundante en la corteza terrestre, Peña (2011), el **Silicio**, dicho elemento después del oxígeno es el que más abunda en la tierra, es el elemento dominante en tecnología de células solares y acapara el 85% del mercado solar, se le puede encontrar en formas de: monocristalino, policristalino y amorfo, después de pasar por varios procesos para obtener un elemento de alta pureza, para ser exactos de 99.9999 % está listo para convertir la luz del sol que llega hasta la célula fotovoltaica en electricidad. Existen dos tipos de celdas fotovoltaicas que son más comunes. La primera es la celda fotovoltaica **Monocristalina**, por lo general de aspecto azul uniforme, rendimiento de 150Wp/m<sup>2</sup>, vida útil de más o menos 30 años, el rendimiento para el modulo comercial se encuentra entre los 12 y 20%, mientras que en laboratorio registra rendimientos del 25%, costo elevado y de producción compleja, bajo condiciones estándar la eficiencia es mayor que la policristalina, mas su eficiencia es útil cuando se cuenta con espacios pequeños donde se desea instalar. En cuanto a la celda **Policristalina**, con un color azul no uniforme, tiene un desempeño aceptable de 100Wp/m<sup>2</sup>, al igual que el anterior, vida útil alrededor de los 30 años, el rendimiento para su módulo comercial es de entre 11 y 15%, mientras que el desempeño alcanzado en laboratorio llega al 20%, su costo de producción es bajo en comparación al anterior y se puede obtener más cantidad de electricidad por igual cantidad de costo, además con temperaturas altas los policristalinos pierden menos eficiencia que los monocristalinos y esa es una característica a tener muy en cuenta, también podemos mencionar que la perdida por degradación por efecto de la luz igualmente es menor en las celdas de policristalinos, eso quiere decir que con el transcurrir de los años perderán menos eficiencia en comparación a los monocristalinos y eso es algo muy importante considerando que la vida útil de los paneles solares ronda de los 25 años a más, por su relación precio/calidad son las más comercializadas actualmente. Las células de silicio amorfo usan semiconductores no cristalinos, en estos elementos los átomos son similares a los cristalinos en lo que respecta a su enlace químico, estos elementos amorfos alcanzan propiedades electrónicas muy aceptables, suficientes para varias aplicaciones, pero para uso fotovoltaico el rendimiento es bajo, entre 5 a 9%,

mientras que en laboratorio alcanza el 13.4%, vida útil de más o menos 10 años, muy baja con relación a los anteriores. Existen otras tecnologías menos difundidas y por consiguiente con precios más elevados que las antes mencionadas y otras en procesos aun de desarrollo o prueba, las cuales serán mencionadas con fines informativos únicamente: sulfuro de cadmio (CdS), sulfuro de cobre (CuS), telurio de cadmio (CdTe), seleniuro de cobre e indio (SeCuIn), arseniuro de galio y últimamente células fotosensibles de origen orgánico, de estas últimas se puede decir que, entre las ventajas que otorgan resaltan: fabricación más económica y sencilla que los policristalinos, apariencia homogénea, permite una fácil integración arquitectónica y fabricable en distintas superficies, capacidad de flexibilidad permite adaptarse a superficies irregulares, buena tolerancia a la sombra y temperaturas elevadas. En contraparte las desventajas son: rendimiento inferior del 10 al 15%, necesitan de superficies más extensas debido a su bajo rendimiento, vida útil inferior y lo más importante, al ser relativamente nuevos tienen muy poco tiempo de pruebas en campo.

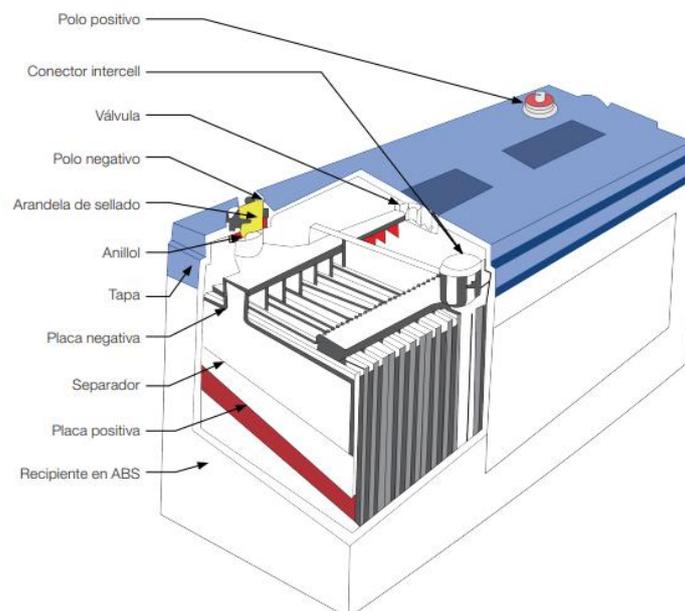


*Figura 8: Celda monocristalina y celda policristalina (derecha)  
Fuente: solar-energía.net*

La luz capturada y convertida en electricidad en forma de corriente continua o directa necesita ser almacenada para disponer de ella cuando el panel solar no puede generar electricidad, como es el caso de la noche o en días nublados cuando la radiación solar es baja, entonces ¿cómo se puede confinar esa electricidad para

utilizarla posteriormente a voluntad?, la respuesta está en los dispositivos **Acumuladores** que comúnmente se les conoce como **Baterías**, en Autosolarperu (2020), encontramos que es un dispositivo capaz de almacenar electricidad, gracias a procesos internos de tipo electroquímicos, los cuales pueden repetirse hasta un tiempo determinado (ciclos) en función a las características del acumulador, uso, desgaste y condiciones externas a las que se le expone, requiere de un sistema externo que le provea de electricidad, el cual se le llama proceso de carga. Existen diferentes tipos de baterías utilizados en sistemas fotovoltaicos, por su capacidad de almacenamiento podemos encontrar baterías de 2, 6, 12, 24 y 48 voltios respectivamente y por su diseño interno de fabricación tenemos los siguientes tipos: baterías de plomo abierto, en comparación con otras baterías su tiempo de vida útil es reducido, su capacidad de amperaje es elevada y son las más económicas del mercado, la desventaja más resaltante es que requiere de mantenimiento constante para verificar que el nivel de ácido sea el adecuado para que funcione de manera eficiente. Baterías Absorber, Glass, Mat (AGM) también conocidas como VRLA, suelen ser las de mayor demanda en el mercado fotovoltaico con instalaciones pequeños y medianos, ya que se trata de una batería con vida útil larga y gran eficiencia, por su innovadora tecnología ofrece alta resistencia y elevada intensidad de descarga, cuentan con un encapsulado seguro y propiedades que retardan el fuego, no requieren mantenimiento, pueden ser utilizadas en exteriores, pero, podrían no alcanzar su máxima eficiencia. Batería de GEL, pertenecen a la familia de las baterías de plomo ácido, con la diferencia de que el electrolito se encuentra en forma de gel, son las más eficaces del mercado y gracias a la capacidad de soportar ciclos de descarga profunda son muy recomendadas en instalaciones aisladas donde cumplen un papel fundamental, pueden soportar varios meses de inactividad, poseen gran capacidad de resistencia a las vibraciones y toleran mejor las temperaturas elevadas. Damiasolar (2020), Baterías de Vasos o Estacionarias, son la opción más recomendada para instalaciones diseñadas a largo plazo, iguales o mayores a 20 años, el precio es mayor que las anteriores tecnologías y lo compensa con el alto rendimiento que brindan, mayor vida útil, capacidad para almacenar más cantidad de energía que van desde los 350Ah hasta 1600Ah para aplicaciones particulares o domésticas, son utilizadas también en el sector industrial y de telecomunicaciones en las que se requiere acumular grandes cantidades de

corriente, con las que se cuentan con capacidades que alcanzan los 4000Ah. Se les llama baterías de vaso y es que para armar equipos de 12v, 24v, 48v se requiere de conectar varios vasos porque cada uno dispone de 2v de tensión pero elevada corriente, es así que para lograr una tensión de 12 voltios se conectarán 6 vasos, de igual manera para configuraciones mayores, a nivel de rendimiento ofrecen muy alta confiabilidad y responden de manera óptima y con rapidez cada vez que la demanda de energía es solicitada por exigente que esta sea, este tipo de baterías ofrecen más de 1500 ciclos de descarga y carga, posee mínima autodescarga en el tiempo.



*Figura 9: Estructura interna de una batería VRLA o AGM  
Fuente: Manual del usuario*

El controlador es otro elemento importante en un sistema fotovoltaico (Autosolar) y como su nombre lo indica, se encarga de controlar básicamente que la tensión y corrientes generados por el panel solar no sobrepasen la capacidad de los acumuladores y así evitar el deterioro prematuro de la batería, por lo general los controladores, de acuerdo al modelo indican en la referencia la corriente de carga máxima, la misma que bajo ninguna circunstancia deberá ser superada por la cantidad de corriente generada por los paneles, quiere decir que si disponemos de un controlador de 10 amperios se le podrá instalar dos paneles de 5 amperios cada uno en paralelo. Se comercializan dos tecnologías de controladores, el primero es

el Pulse-Width Modulation (PWM), modulación por ancho de pulsos, son la primera tecnología en salir al mercado y por tanto los más antiguos, en el interior cuenta con sólo un diodo que cumple la función de protección por sobretensión y origina que los paneles funcionen a la misma tensión de los acumuladores, es decir, la cantidad de voltaje y corriente a la entrada y salida del controlador es igual, esta característica origina pérdida de potencia entorno a los 25 – 30% debido a que la máxima potencia la impone la batería en función al estado de carga que se encuentra y conlleva a que los paneles trabajen por debajo de su máximo punto de potencia. Controlador de carga Maximum Power Point Tracking (MPPT), o seguidor del punto de máxima potencia, a diferencia del anterior que internamente incorpora un diodo protector, este por su parte, además, está dispuesto de un convertidor de tensión CC-CC y de un seguidor del punto de máxima potencia, consiguiendo que pueda operar a distintas potencias (tensiones y corrientes) y el seguidor MPPT convierte el voltaje de función del campo fotoeléctrico para proporcionar la potencia máxima. La diferencia que resalta entre el controlador PWM y el MPPT, es que con el segundo se logra aumentar la producción de electricidad en hasta un 30%, debido a que el voltaje y corriente entre la entrada del controlador y la salida son distintos, en otras palabras y a modo ejemplo, la característica de los controladores MPPT, permiten realizar configuraciones con los paneles solares, sin tener que preocuparse que las baterías fueran de una capacidad inferior a la de los módulos fotovoltaicos, ya que el controlador MPPT automáticamente ejecutara el corte de carga hacia la batería, pero, permitiendo aprovechar la electricidad excedente generada por los paneles, con lo cual se logra rescatar hasta un 30% más de energía generada.



*Figura 10: Controlador PWM- Controlador MPPT.  
Fuente: <https://www.tritec-intervento.cl/productostritec/diferencia-entre-controlador-de-carga-pwm-y-mppt/>*

Hasta aquí los tres dispositivos mencionados, forman la parte esencial de un sistema fotovoltaico, pero no se debe olvidar, que el panel solar genera electricidad en corriente continua o directa (CD), y si se desea hacer uso de la electricidad como se está acostumbrado, de tomar cualquier artefacto electrónico, enchufarlo a algún tomacorriente y utilizarlo, es necesario contar con un dispositivo que cumpla la función de convertir la corriente continua (CD) que resulta del sistema fotovoltaico y transformarla en corriente alterna (CA), que es la que comúnmente provee el concesionario eléctrico, es aquí que entra en escena el Inversor de corriente, como indica Salamanca (2017), va a invertir la corriente de entrada, en este caso ingresa corriente continua o directa (CD) que le llega desde el panel solar y a la salida del inversor se tendrá ya convertida en corriente alterna (CA) (p. 4), que es la que todos estamos acostumbrados a utilizar en nuestros hogares. Los inversores de corriente se dividen en inversores de onda senoidal pura, son dispositivos capaces de generar constantemente ondas sinusoidales con características similares a las que proporciona la red eléctrica convencional, su precio es mayor y se puede conectar cualquier dispositivo electrónico.

El inversor de onda senoidal modificada, por el contrario, su precio es inferior debido a la simplicidad de su construcción, pero no todos los dispositivos electrónicos pueden funcionar adecuadamente, su utilización está dirigida a equipos de carga resistiva como hornos, sandwicheras y similares. En ambos casos la elección del tipo de inversor con respecto al voltaje de entrada, va en función de la tensión del sistema fotovoltaico, quiere decir que, si tenemos un sistema fotovoltaico funcionando a 12 voltios, el inversor será de igual voltaje, por el contrario, si disponemos de un sistema a 24 voltios, el inversor deberá ser a 24 voltios de entrada. Para ambos tipos de inversores de corriente, la salida nominal es de 230 voltios de corriente alterna. Respecto a la eficiencia que proporcionan, se relaciona con la potencia de entrada del inversor y la potencia que se desea a la salida, aunque los fabricantes suelen omitir el porcentaje de eficiencia, usualmente se ubica en torno al 90% de eficiencia, por esta razón se recomienda utilizar inversores con la mejor eficiencia ofrecida del mercado.



Figura 11: Inversor Cargador 5000 24V MPPT 60A Must Solar.  
Fuente: <https://autosolar.pe/inversores-24v/inversor-cargador-5000w-24v-mppt-60a-must-solar>.

Los equipos antes mencionados, en conjunto forman el **Sistema Fotovoltaico** como se muestra en la siguiente figura.

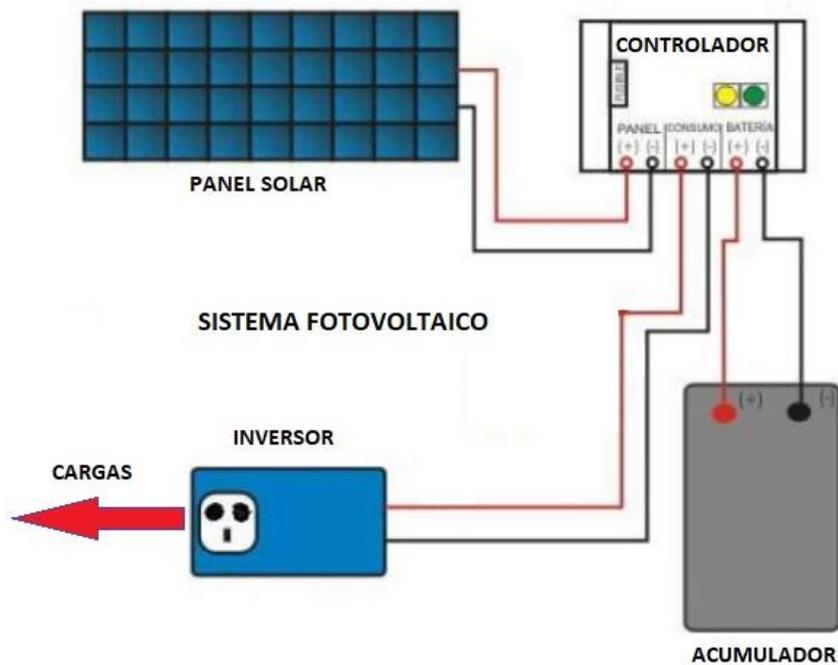


Figura 12: Sistema Fotovoltaico.  
Fuente: Elaboración Propia

Los sistemas fotovoltaicos a su vez se clasifican en tres campos de aplicación, los aislados de la red eléctrica, Conectados a la red eléctrica y los orientados a Sistemas de bombeo. Según Basterra et al (2017), una instalación fotovoltaica aislada, es aquella con la capacidad de proveer de la energía eléctrica que es demandada, mediante su propia producción (p. 6). Estas instalaciones representan una buena alternativa energética en lugares donde los servicios eléctricos públicos no llegan o el costo de instalación y mantenimiento son muy altos, en instalaciones aisladas de la red, es indispensable contar con banco de acumuladores de electricidad, los cuales cumplen la función de abastecer de energía durante la noche y días nublados en que la radiación solar es muy baja, para el dimensionamiento del sistema se deberá tener en cuenta el mes más bajo de irradiación solar de la zona, además de considerar la potencia instantánea, que es la que se origina con ciertos aparatos eléctricos como motores durante su arranque y que pueden llegar a demandar corrientes de hasta seis veces el valor nominal del sistema. Para Díaz et al (2012), sistema fotovoltaico conectado a red (SFVCR), son aquellos que conectados a los puntos cercanos de consumo o en el propio punto de consumo, se ubican de forma distribuida y entregan la energía no consumida a la red (p. 5), se podría decir que la red de distribución pública de electricidad funciona como un ente, actuando de disipador de energía y recibe toda la electricidad generada y disponible del sistema fotovoltaico, desde diversos puntos donde se genere, como pueden ser viviendas y edificios. Este tipo de sistema difiere un poco de los aislados, en su mayoría prescinden de los elementos de acumulación de electricidad (banco de baterías), pues la energía demandada por la vivienda es tomada directamente de los paneles solares durante el día, y por la noche, así como en días de poca generación, es absorbida de la red pública, mientras que el excedente generado por el sistema es inyectado directamente a la red del concesionario eléctrico. el dispositivo controlador realiza la función de informar al inversor el momento del máximo punto de potencia y este a su vez, sincroniza la onda eléctrica del sistema fotovoltaico para igualarlo con la del concesionario, seguidamente es inyectada a la red pública. El sistema conectado a red representa para el usuario una forma de ingreso económico, por la electricidad proporcionada a la red del concesionario, y ayuda a la recuperación de la inversión ejecutada, por lo general a mediano o largo plazo. En muchos casos distintos

autores consideran, dentro de los SFVCR, a las Grandes Centrales Eléctricas Fotovoltaicas (GCEFV), las cuales, a diferencia de los anteriores, están diseñados para producir la mayor cantidad de energía eléctrica posible, pero a su vez, inferior en comparación a la cantidad generada por centrales eléctricas convencionales. Se califica como desventaja, por algunos concedores en el tema como Díaz et al (2012), que menciona: la necesidad de extensas áreas de terreno para su implementación es una desventaja fundamental (p. 5). La potencia obtenida por una celda solar se define por el producto de la intensidad (corriente) eléctrica y la tensión (voltaje) de la misma, es por ello, que utilizan un sistema de seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT por su siglas en ingles) que consiste en la “observación” de los factores a los que se exponen los paneles solares e influyen en la capacidad para la generación de la máxima potencia, algunos de estos factores son, los niveles de irradiancia que no son constantes y la temperatura de las células que, igualmente pueden variar durante todo el día. A partir de estas “observaciones” el dispositivo encargado, toma decisiones que, básicamente consisten en variar el valor del ciclo útil del convertidor de potencia, con lo cual, se logra maximizar la eficiencia de los paneles.

En el mundo existen cientos de ambiciosos proyectos de generación eléctrica con sistemas fotovoltaicos, que, de cierto modo muestra el interés de los principales gobiernos del mundo por la búsqueda de nuevas formas, sustentables y limpias de generar electricidad, de los cuales se hará mención de los más importantes en el planeta como se recoge de El periódico de la energía (2020). En primer puesto se posiciona la recién culminada central solar en la India llamada Bhadla ubicada Rajasthan, con una capacidad instalada de 2245 MW. Esta planta se terminó de construir en marzo del 2020. A continuación, otro parque solar también indio ubicado en el distrito de Tumkur – Karnataka, alcanza a generar la potencia de 2050 MW convirtiéndola en la segunda central fotovoltaica más grande del globo terráqueo. Pavagada Solar Park como se llama, requirió de una inversión de 2100 millones de dólares. El parque se extiende por al menos 53 Km<sup>2</sup>. Hasta hace poco era considerada como la planta solar más grande del mundo, con una capacidad de 1547 MW, el parque solar del desierto de Tengger en China, conocido como “La Gran Muralla Solar”, se ubica en el desierto de Zhongwei, provincia de Ningxia y

ocupa un área de 1200 Km<sup>2</sup>. El imponente proyecto comenzó en 2012 culminando para finales del año 2015, en la siguiente figura se muestra lo imponente de la obra.

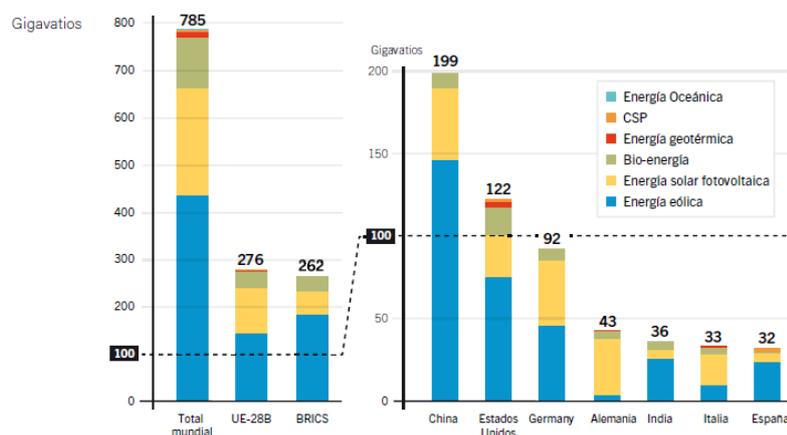


*Figura 13: Parque solar Chino- La Gran Muralla Solar.*  
Fuente: [www.elperiodicodelaenergia.com](http://www.elperiodicodelaenergia.com).

Kurnool Ultra Mega Solar Park. India, posee 4 millones de paneles solares capaces de entregar una potencia de 315 vatios individualmente y en conjunto producen 8 GWh día, son necesarios 2400 hectáreas en Panyam Mandal, en el distrito de Kurnool, en Andhra Pradesh para acoger esta gran obra. El Parque Solar Datong. China, posee una capacidad total instalada de 3000 MW, el complejo eléctrico es propiedad de United Photovoltaics Group Limited, pero el porcentaje mayor de acciones lo controla la también China Merchants New Energy Group. La siguiente planta generadora corresponde a una híbrida, llamada Longyangxia Hydro- Solar PV Station. Se ubica en China en la provincia de Qinghai. Powerchina fue la encargada de su diseño y construcción que terminó con la segunda fase en diciembre 2015, ostenta el título de la más grande a nivel mundial con tecnología mixta hidro-solar, la hidroeléctrica genera 1280 MW de potencia, mientras que la solar 850 MW. En México se encuentra el Parque Solar PV Villanueva, utiliza 2500 millones de paneles solares con los cuales es capaz de generar más de 2000 GWh

anuales. El proyecto fue desarrollado por Enel Green Power México (EGPM) y, a un costo de 710 millones de dólares evita la emitir a la atmosfera un millón de toneladas de CO2. La planta Rewa Ultra Mega Solar, ubicada en la provincia del mismo nombre en India, es uno de los parques solares más grandes del país y el sexto a nivel mundial. Con una capacidad total de 750 MW, es propiedad de Rewa Ultra Mega Solar Limited (RUMSLy). A nivel mundial hay varios países que lideran el aprovechamiento y uso de tecnologías avanzadas referente a energías renovables. Para el año 2015 según REN21 (2016), China lidera el ranking de los siete países con capacidades energéticas renovables, tal como se muestra en la siguiente figura.

Capacidades de energía renovable en el mundo, UE-28, BRICS y los siete países líderes, finales de 2015



\* No incluye la energía hidroeléctrica (Ver Tabla R2 de referencia para ver datos que la incluyan).  
Los cinco países BRIC son Brasil, Federación Rusa, India, China y Sudáfrica.

Figura 14: Países líderes en capacidades energéticas renovables 2015.  
Fuente: Red de políticas en energía renovable para el siglo 21 (REN21)

Si bien es cierto el Perú aun no aparece en ningún lugar del ranking mundial, respecto al aprovechamiento del potencial de las energías renovables, especialmente la solar fotovoltaica, que es materia del presente estudio, no quiere decir, que no reúna los requisitos para convertirse en parte de ese grupo. El Ministerio de Energía y Minas (MEM) indica que el Perú posee siete centrales fotovoltaicas que en conjunto alcanzan una potencia instalada de 284.48 MW, siendo la más grande, la hace poco inaugurada Central Solar Rubí, ubicada a 35 Km de Moquegua y a una altitud de 1481 msnm. Cuenta con más de 500 mil

paneles solares de 320 W cada uno, que a su vez alcanzan a generar 180 MW de potencia. Para su construcción se invirtió la suma de casi 170 millones de dólares, el proyecto estuvo en manos de la empresa italiana Enel Green Power (EGP), a través de su filial peruana Enel Green Power Perú (EGPP). A pesar de ser la mayor central fotovoltaica del país, su capacidad de generación resulta muy pequeña incluso en comparación con centrales de la región. Chile actualmente está construyendo una nueva central fotovoltaica con una capacidad de 382 MW y que se prevé este culminada a finales del 2020. Actualmente las Energías Renovables No Convencionales (ERNC) representan para el vecino país, el 17% de su matriz energética, mientras que en el Perú se llega sólo al 5% según cifras del MEM. La siguiente figura ilustra

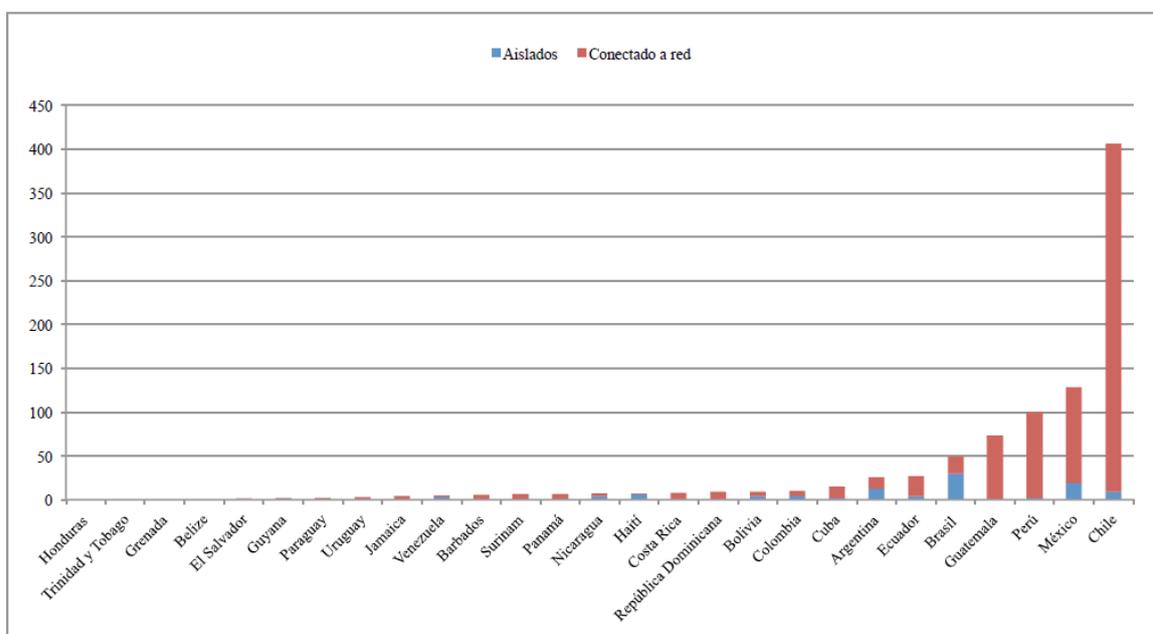


Figura 15: estimación de capacidad instalada en Latinoamérica y El Caribe.  
Fuente: Estado actual de la energía solar fotovoltaica en Latinoamérica y el Caribe.

Existen en el país otros proyectos fotovoltaicos orientados a reducir la inaccesibilidad a la energía eléctrica, principalmente en zonas rurales donde las condiciones técnicas y económicas complican la ejecución de proyectos con electricidad convencional, estos proyectos son del tipo aislado de la red y conocidos como Sistemas Fotovoltaicos Domiciliarios (SFVD). Por lo general se caracterizan por tener una configuración muy básica, con un módulo solar que ronda en potencia

entre 50 y 100 W, su utilización va dirigida a satisfacer medianamente la necesidad de iluminación de una vivienda.

Chumbes et al. (2017), en su trabajo de investigación para obtener el grado de Master, concluye que invertir en recursos energéticos, es de suma importancia para el país en el sentido de cumplir los compromisos internacionales acordados porque de no ser así podría significar duras sanciones y hasta restringir las exportaciones de la producción nacional por parte de la Comunidad Internacional.

El Gobierno del Perú como resultado a los compromisos asumidos para la reducción de gases de efecto invernadero, ha ido evolucionando para desarrollar las energías renovables. En el Perú se han firmado acuerdos y se han promulgado leyes para hacer factible la inversión en generación de electricidad de fuentes renovables, así se tiene el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 7: “Energía Asequible y No Contaminante”, aprobado por la Asamblea General de las Naciones Unidas en septiembre (2015). El Programa de las Naciones Unidas (PNUD) señala que entre los años 2000 y 2016 el número de personas con acceso a energía eléctrica aumentó de 78% a 87% y bajaron a menos de mil millones las personas sin acceso a energía, pero a medida que la población mundial crece, también aumenta la demanda de energía accesible, y una economía mundial enlazada a los combustibles fósiles está propiciando grandes impactos en el clima. Para lograr al año 2030 el Objetivo de Desarrollo 7 se hace indispensable invertir en fuentes de energía limpia, como la solar, eólica y termal a fin de mejorar la productividad energética [...] teniendo presente que 1 de cada 7 personas no tiene acceso a energía eléctrica y la mayoría de ellos vive en áreas rurales de los países en desarrollo y los estándares de energía más eficientes podrían reducir el consumo de electricidad de los edificios y la industria en un 14%.

En el año 2016 el Perú ratificó El Acuerdo de París sobre cambio climático alcanzado el año 2015, el mismo que entró en vigor el 04 de noviembre del 2016, el mismo que tiene como objetivo fortalecer la respuesta global a la amenaza del cambio climático al mantener un aumento de la temperatura global en este siglo muy por debajo de los 2 grados centígrados por encima de los niveles preindustriales y continuar los esfuerzos para limitar el aumento de la temperatura

aún más a 1.5 grados centígrados. Asimismo, en dicho acuerdo se planteó la necesidad de recursos financieros y tecnológicos para facilitar que los países en desarrollo puedan superar el consumo de combustibles fósiles y pasar a las energías renovables. El 16 de junio del 2005 se publicó la Ley de Promoción y Utilización de los Recursos Energéticos Renovables No Convencionales en Zonas Rurales, Aisladas y de Frontera del País (Ley N° 28546), la misma que tiene como objetivo promover la electrificación a través de fuentes energéticas renovables no convencionales para contribuir con el desarrollo de la calidad de vida de las zonas rurales, aisladas y de frontera del Perú, y la protección del medio ambiente. Dentro de la clasificación de Energías renovables no convencionales, se encuentra la energía solar... (art. 4). Asimismo, el Decreto Ley N° 1002, Ley de Promoción de la inversión para la generación de electricidad con el uso de energías renovable, publicado el dos mayo del 2008. La misma que en el art. 2 señala que se declara de interés nacional y necesidad pública el desarrollo de nueva generación eléctrica mediante el uso de RER. La citada Ley en su art. 3 define como RER a los recursos energéticos tales como fotovoltaico, biomasa, eólico, [...]. El art. 7 establece que por medio del OSINERGMIN se subaste las primas para la generación RER y para cubrir la diferencia de la tarifa establecida a los usuarios será por medio de los aportes a través de los peajes de conexión según lo indica el art. 61 de la Ley de Concesiones Eléctricas. En el art. 12 el Ministerio de Energía y Minas promueve la investigación y desarrollo orientado a la generación de electricidad con energías sustentables para lo cual utilizará recursos propios, endeudamiento externo y los provenientes de cooperaciones internacionales. El Decreto Supremo N° 012-2011-EM – Reglamento de la generación de electricidad con energías renovables. Desarrolla los criterios técnico-económicos y de detalle de los alcances de la Ley N° 1002 con relación a la producción de electricidad RER para la venta al Sistema Interconectado Nacional.

Decreto Supremo N° 020-2013-EM, Reglamento de la generación de electricidad con energías renovables en áreas no conectadas a red, publicado el día 27 de junio del año 2013. En el art. 2 señala que el objeto de la presente ley es aplicar las disposiciones que reglamentan la promoción y aprovechamiento de los Recursos

Energéticos Renovables orientado a mejorar la calidad de vida de los ciudadanos que residen en áreas no conectada a la red [...]

Ley N° 28832, Ley para asegurar el desarrollo eficiente de la Generación Eléctrica, publicado el 23 de julio del año 2003. Se promulga bajo una idea innovadora en materia energética en el país y que básicamente consiste en permitir al usuario final conectar la energía que produce, directamente a las redes del concesionario eléctrico de su localidad. En tal sentido, Revistaenergía (2019), señala que la Resolución Ministerial N° 292-2018-MEM/DM, publicada con fecha 02 de agosto de 2018, que contiene la pre-publicación del Decreto Supremo que aprueba el Reglamento de la Generación Distribuida en el Perú, el mismo que presenta dos divisiones: la primera dirigida a la Mediana Generación Distribuida (MGD) entre 200 KW y 10 MW dirigida a la comercialización en forma masiva, por otro lado, la Microgeneración Distribuida (MCD) limita a 200 KW la capacidad de generación para autoconsumo que, dicho sea de paso, es la más baja de la región. El texto también menciona que de momento no existe restricción para que el excedente del autoconsumo generado pueda suministrarse a la red.

### III. METODOLOGÍA

#### 3.1. Tipo y diseño de investigación

La presente investigación es de tipo documental, por cuanto se sostiene en la revisión crítica de estudios realizados por distintos autores e instituciones referidas al tema estudiado así como del estado del conocimiento referido a las estrategias aplicadas por los autores, se sustenta en lo expresado por la Universidad Pedagógica Experimental Libertador (2011) donde se señala: “Se entiende por Investigación Documental, el estudio de problemas con el propósito de ampliar y profundizar el conocimiento de su naturaleza, con apoyo, principalmente, en trabajos previos, información y datos divulgados por medios impresos, audiovisuales o electrónicos” (p.20).

El estudio también se sustenta en un diseño bibliográfico el cual se fundamenta en una profunda revisión del material documental lo que permite alcanzar un análisis del tema estudiado referente a la energía solar fotovoltaica. En relación a lo dicho, Balestrini (2006) menciona: “en los diseños bibliográficos, los datos se obtienen a partir de la aplicación de las técnicas documentales, en los informes de otras investigaciones donde se recolectaron esos datos, y/o a través de las diversas fuentes documentales”.

### 3.2. Variable y Operacionalización.

Tabla 2: Variable Operacional.

Variable	Definición conceptual	Objetivos específicos	Categorías	Sub categorías	Unidad de análisis
Energía Solar Fotovoltaica	Fenómeno por el que los fotones, incidiendo sobre determinados materiales y en condiciones apropiadas, pueden generar una diferencia de potencial o voltaje susceptible de mantener una corriente eléctrica. (PROGENSA, 2009)	Describir el estado del arte de la energía solar fotovoltaica	El estado del arte	Inicios Clasificación de sistemas fotovoltaicos. Componentes Características Aplicaciones	Roldan (2003) RJ Consultores (2018) Basterra et al (2017) Arévalo et al (2019) Cieza (2017) Salamanca (2017) Díaz et al (2012) Sánchez (2017) Jara (2018)
		Definir el estado actual de la tecnología fotovoltaica	Tecnología fotovoltaica	Innovación Capacidad Ventajas	Roldan (2003) Peña (2011) PROGENSA (2009) Atlas energía solar del Perú (2003) Vásquez y Gamio (2018)
		Describir los factores que limitan el uso masivo de la energía solar fotovoltaica en el Perú	Limitaciones para el uso masivo de la energía solar fotovoltaica en el Perú	Normativa Costo Promoción	Acuerdo de Paris (2016) Objetivo de Desarrollo Sostenible Decreto Ley 1002 (2008) Decreto Supremo N° 012-2011-EM Decreto Supremo N° 020-2013-EM Ley N° 28832 (2003) Revista energía (2019) Prieto (2018)

Fuente: Elaboración Propia

### 3.3. Población, muestra y muestreo

La población considerada en la presente investigación es finita, por el carácter del estudio, el cual es de tipo documental diseño bibliográfico, como lo menciona el autor Arias (2012, p.82) la población finita es la agrupación en la que se conocen la cantidad de unidades que la integran. La presente investigación está constituida por información documental de diversas fuentes como: revistas, trabajos de investigación, artículos, libros, reportes informativos, y material documental. La información recopilada fue seleccionada con criterio innovativo y estratégico.

### 3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

El autor Arias (2015, p.67) define a la técnica de investigación como el procedimiento o forma particular de obtener datos o información.

*Tabla 3: Técnicas e instrumentos de recolección de datos.*

<b>DISEÑO</b>	<b>TECNICAS</b>	<b>INSTRUMENTOS</b>
Diseño de investigación documental	Análisis documental	Guía de análisis Computadoras Unidades de Almacenajes
	Análisis de contenido	Software de registro y clasificación de categorías

*Fuente: Elaboración propia*

### 3.5. Procedimientos

El procedimiento es una pieza complementaria, mecánica, la cual se puede realizar de manera manual o con la ayuda de herramientas digitales. Se Inicia llevando a cabo una revisión de distintas fuentes que aportan información de material bibliográfico que guarda relación con la

investigación y otros estudios anteriores, después de identificar y describir el objeto materia de estudio elegido para llevar a cabo la investigación, se encuentran, escogen y seleccionan las fuentes de información documentales y bibliográficas que fueron consultadas y documentadas para dar lugar al marco teórico que a su vez sirve de fundamento al estudio. Seguidamente, el proceso de investigación prosigue a fin de poder determinar aspectos del tipo documental y diseño bibliográfico, haciendo uso de técnicas de las que se puede mencionar fichaje digital que permite recoger, acumular, ordenar datos que posteriormente serán de uso para la realización del estudio. Al final se hace la redacción del informe siguiendo las pautas indicadas mencionando las conclusiones y recomendaciones propias.

### 3.6. Métodos de análisis de datos

El autor Hernández et. al (2014, p. 318) señala que, en una investigación cualitativa, el recojo y disquisición de datos ocurren prácticamente en paralelo; además, el análisis no es uniforme puesto que cada investigación requiere un esquema peculiar.

La investigación basada en la recolección de literatura es un proceso en el que el investigador accede a diversas fuentes, las cuales son estudiadas con espíritu crítico sin perder objetividad. Los documentos pueden ser del tipo impreso, audiovisuales, agendas, recortes periodísticos y electrónicos. Como sucede en toda investigación, el propósito final será siempre el aporte de nuevos saberes (Arias, 2012, p.27).

### 3.7. Aspectos éticos

El aspecto ético es una cualidad que debe manifestarse en todas las actividades que el hombre desempeña. En el presente estudio se respetaron tanto la información obtenida de los distintos recursos, así

como las ideas de los autores, las cuales son utilizadas otorgándosele el crédito respectivo de autoría, citando y referenciando la información utilizada.

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para el desarrollo de la presente investigación se plantearon tres categorías: El estado del arte, tecnología fotovoltaica y Limitaciones para el uso masivo de la energía solar fotovoltaica en el Perú. Se describe el estado del arte de la energía solar fotovoltaica, como menciona Roldan (2013), la energía solar fotovoltaica se remonta hasta el año 1832 cuando el francés Becquerel descubre que se puede extraer electricidad a partir de la luz, al cual se le conoce en la actualidad como “efecto fotovoltaico”; posteriormente en 1877 Grylls y Evans dan origen a la primera célula fotovoltaica de la historia. Tuvo que pasar setenta y siete años para que se construya el primer módulo fotovoltaico en los laboratorios de la compañía Bell, era el año 1954 y, la carrera aeroespacial se avizoraba dando sus primeros inicios en la pugna entre las dos potencias de ese entonces, la Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas y los Estados Unidos de América, por conquistar el espacio. Los primeros módulos fotovoltaicos significaban un costo muy elevado para su fabricación y, las potencias mencionadas líneas arriba, necesitaban una forma de generar electricidad para sus naves espaciales y lo más importante contaban con inmensos recursos económicos para pagarlos. El resultado fue el lanzamiento del Vanguard 1, primer satélite estadounidense provisto de paneles solares, para proveerse de electricidad, las baterías instaladas en la nave se agotaron en veinte días, pero gracias a los módulos fotovoltaicos, el satélite pudo seguir transmitiendo por siete años. La exitosa experiencia le abriría el camino a la energía fotovoltaica en la industria aeroespacial, motivando a los gobiernos a invertir grandes sumas de dinero para mejorar la tecnología, así, en la Unión Soviética desarrollan células fotosensibles con Arseniuro de Galio (GaAs) de alta eficiencia. La tecnología fotovoltaica continuaría ligada a la industria aeroespacial, proveyendo de electricidad a proyectos como el telescopio Hubble, la Estación Espacial Internacional y antes de ella a la Estación Espacial MIR, la sonda espacial Rosetta lanzada en 2004 y con una misión de doce años para estudiar al cometa 67P, entre otros muchos proyectos. En la tierra la implementación de paneles solares se inicia según se relata en RJ Consultores (2018), en el año 1966 en la ciudad de Ogami en Japón se sustituye el abastecimiento a gas para la antorcha del faro de la ciudad por el uso de paneles solares, con lo cual se demuestra la viabilidad y el potencial

de la energía fotovoltaica como recurso eléctrico y, sería la primera aplicación comercial de sistema fotovoltaico en la tierra. Los sistemas fotovoltaicos están clasificados en tres grupos: los sistemas aislados de la red, conectados a red y fotovoltaicos utilizados para sistemas de bombeo. Basterra et al (2017), asegura que mediante un sistema fotovoltaico aislado se puede obtener electricidad autogenerada, en ese sentido Arévalo et al. (2019), diseñó un sistema fotovoltaico aislado, con el cual dotó de electricidad a una vivienda unifamiliar en la ciudad de Tarapoto, para lo cual tomó como referencia para el cálculo de la radiación solar, al mes más frío del año y con la menor radiación. Cieza (2017), por su parte aplica el sistema aislado de red, para proveer de electricidad para iluminar los ambientes del hotel Lancelot en la ciudad de Chiclayo, obteniendo la cifra de 17.39 KW/h de energía. Siguiendo con la clasificación, los sistemas fotovoltaicos conectados a red, afirma Díaz et al. (2012), tienen la particularidad de inyectar a la red pública la electricidad excedente que se genera en el sistema, en consecuencia, contribuye al abastecimiento de la energía pública a cambio de una retribución económica, además que puede utilizar la electricidad del concesionario para su consumo en momentos que lo necesite. Las Grandes Centrales Eléctricas Fotovoltaicas, se consideran dentro de la clasificación conectadas a red. Díaz et al. (2012), reconoce que la implementación de paneles solares para obtener electricidad demanda de extensas áreas de terreno, convirtiéndose en una desventaja sustancial. Aun así, existen en el planeta muchas centrales solares fotovoltaicas que generan enormes cantidades de electricidad, algunas incluso, por encima de lo que producen las centrales nucleares. El periódico de la energía (2020), en India el mayor parque fotovoltaico recién culminado en marzo del 2020 tiene capacidad para producir 2245 MW de potencia. En el Perú, la obtención de electricidad haciendo uso de la tecnología fotovoltaica es todavía incipiente comparada con los grandes proyectos alrededor del mundo, incluso por debajo de algunos países de América Latina. Enel-Perú (2018) menciona que el parque fotovoltaico más grande construido en el Perú se denomina Rubí, se ubica en el departamento de Moquegua y alcanza la modesta cifra de 180 MW de potencia. El vecino país sureño, Chile, actualmente construye un parque solar con capacidad de generar 382 MW de potencia, lo que significa el 17% de su matriz energética. A diferencia de Perú que la matriz energética renovable es del 5%, en ese sentido Perú aún tiene mucho camino por

recorrer para lograr desprenderse de la dependencia de los hidrocarburos y avanzar hacia la generación de energía eficiente, rentable y amigable con el planeta. Para los sistemas fotovoltaicos de bombeo, que frecuentemente se destinan a las actividades agropecuarias, existen proyectos como señala Sánchez (2017), al diseñar un sistema fotovoltaico orientado al funcionamiento de una electrobomba para mejorar la producción del establo GESA en Chiclayo. El autor asevera haber logrado el objetivo propuesto, aunque señala que existen otras formas de energía renovables que son aplicables. Castro (2019), utilizó la tecnología fotovoltaica para electrificar una granja avícola en el caserío Uña de Gato –Jaén, que a su vez posee una electrobomba con una potencia de 15 Kwh/día. Que refuerza al anterior autor en el sentido que es factible el empleo de la tecnología fotovoltaica para proveer electricidad en lugares donde la energía convencional no llega o el costo de implementación la hace inviable. Un sistema fotovoltaico se conforma principalmente por los siguientes componentes: El módulo fotovoltaico, es el componente principal del sistema. Peña (2011), sostiene que el Silicio, elemento más abundante sobre la tierra después del oxígeno, y mineral con el que se fabrican las células fotosensibles acaparan el 85% del mercado fotovoltaico. Dicho mineral en su proceso de transformación para que esté en la capacidad de desarrollar su función, debe alcanzar un nivel de pureza del 99.99%. Una vez procesado el material se pueden fabricar paneles solares monocristalinos, con una eficiencia del 25% en condiciones de laboratorio y de 12% al 20% en circunstancias ambientales comunes. La potencia alcanzada es de 150 Wp/m<sup>2</sup> y vida útil de aproximadamente 30 años. Los módulos policristalinos se fabrican con viruta de silicio por lo que su producción es más económica. La eficiencia que alcanzan en ambientes controlados es de 20% mientras que en condiciones no controladas el rendimiento oscila entre 11% y 15%; 100 Wp/m<sup>2</sup> es la potencia que alcanzan y tienen una vida útil de 30 años aproximadamente. Por su buena relación de rendimiento y precio son los módulos de mayor comercialización. Se pueden encontrar también los paneles de silicio amorfo, los cuales, por su baja eficiencia, que oscila entre 5% y 9%, con un tiempo de vida útil de 10 años no son un producto rentable para su comercialización. Existen células fotovoltaicas que utilizan material semiconductor a partir de otros minerales como son: Sulfuro de Cadmio (CdS), Sulfuro de Cobre (CuS), Teluro de Cadmio (CdTe), Seleniuro de Cobre e Indio

(SeCuIn), Arseniuro de Galio y últimamente células fotosensibles de origen orgánico. Algunos de los mencionados tienen características innovadoras como los de película fina, que tienen la ventaja de adaptarse a diferentes superficies que se desee instalar debido a su capacidad de flexibilidad entre otras bondades que ofrecen; sin embargo, presentan ciertas desventajas como la necesidad de grandes áreas de tierras, pues el rendimiento no sobrepasa el 15%. Los de origen orgánicos aun no tienen mucho tiempo en el mercado, por consiguiente, no se tiene suficientes testimonios de rendimiento en campo. Otro componente del sistema son los acumuladores, en Autosolarperú (s.f) una página especializada en el tema materia de investigación, se encuentra que las baterías utilizadas en sistemas fotovoltaicos cumplen ciertos requisitos para brindar un desempeño óptimo en el almacenamiento de electricidad. Deben soportar la mayor cantidad de ciclos de vida (carga y descarga del acumulador). Estas baterías en apariencia física son similares a las utilizadas en el sector automotor, pero internamente difieren entre sí, debido a que las baterías automotrices se diseñan para entregar la máxima corriente en un momento determinado, mientras que las baterías solares deben entregar una corriente controlada durante tiempos prolongados. Las baterías más utilizadas en sistemas fotovoltaicos residenciales son las de tipo Absorber Glass Mat (AGM), se puede encontrar acumuladores en voltajes de dos, seis, doce, veinticuatro, cuarenta y ocho voltios y amperajes que superan los 4000 Ah. Es importante disponer del mejor acumulador que se pueda adquirir, al menos en los sistemas aislados de la red porque ellos garantizarán el suministro continuo y eficiente de electricidad. La cantidad de acumuladores a utilizar dependerá del dimensionamiento del sistema. En los sistemas fotovoltaicos conectados a red no es indispensable contar con acumuladores puesto que al momento que el sistema no pueda generar electricidad ésta puede tomarse de la red pública. Otro componente es el controlador, encargado de gestionar el voltaje que ingresa desde el panel y va hacia la batería y posteriormente a las cargas, este dispositivo en los proyectos fotovoltaicos de menor proporción y aislados de la red es común que incorporen controladores del tipo Pulse-Width Modulation (PWM) o modulación por ancho de pulsos, debido a su bajo costo y cumple básicamente la función de actuar como un interruptor que corta el flujo de electricidad del panel hacia la batería cuando ésta se encuentre totalmente cargada. No son eficientes en proyectos de

mayores dimensiones por su baja eficiencia. En sistemas fotovoltaicos de grandes dimensiones y los conectados a red es conveniente emplear los controladores del tipo Maximum Power Point Tracking (MPPT), o seguidor del punto de máxima potencia, debido a que se busca aprovechar la mayor cantidad de electricidad generada por los paneles solares. El controlador MPPT posee la cualidad de combinar diferentes voltajes entre módulos fotovoltaicos y acumuladores, significa que puede trabajar con módulos de mayor voltaje que el configurado en los acumuladores con este tipo de controlador se puede aprovechar hasta un 30% más de electricidad. En los sistemas conectados a red esto resulta de suma relevancia porque puede inyectar mayor energía a la red pública. El inversor, asegura Salamanca (2017), va a proporcionar energía eléctrica alterna (CA) que es la que comúnmente utilizamos en las viviendas, este por su parte recibe del módulo fotovoltaico corriente eléctrica continua (CC), la cual no puede ser utilizada directamente por dispositivos eléctricos o electrónicos, pues estos en su mayoría funcionan con corriente alterna. Existe dos tipos de inversores: Inversor de Onda Senoidal Pura e Inversor de Onda Senoidal Modificada. Se recomienda utilizar el primero, porque la onda senoidal que proporciona es muy parecida a la ofrecida por la red pública, su precio es mayor al de Onda Senoidal Modificada.

Los sistemas fotovoltaicos tienen variedad de aplicaciones, según Roldan (2013) podemos encontrarlos en la industria aeroespacial con los cuales se abastece de electricidad a estructuras espaciales como la Estación Espacial Internacional, Satélites, sondas de exploración entre otros. Los cuales incorporan paneles solares que les garantizan electricidad para el funcionamiento de sus sistemas. RJ Consultores (2018) hace referencia al primer faro en Japón, en la ciudad de Ogami que fue abastecido con electricidad proveniente de módulos solares, reemplazando así, el gas que daba vida a la antorcha. Por su parte, el periódico de la energía (2020) muestra gran cantidad de parques solares o centrales fotovoltaicas las cuales haciendo uso de extensas áreas de terreno y miles de paneles solares obtienen grandes cantidades de electricidad que distribuida por las líneas de transmisión llega finalmente a los hogares e industrias para su aprovechamiento. Días et al, (2012) utiliza el sistema fotovoltaico en la modalidad de conexión a red inyectando el excedente de la producción a las líneas de distribución del concesionario eléctrico para que sea aprovechado por los usuarios conectados al

sistema. La electricidad excedente proporcionada al concesionario es retribuida en forma económica o descontado del pago de su consumo. Por su parte Jara (2018) lleva a cabo la implementación de un sistema fotovoltaico con el cual logra dotar de electricidad a un edificio multifamiliar en Baños del Inca en Cajamarca. Sánchez (2017), aplica la tecnología fotovoltaica en el establo GESA en Lambayeque con el fin de hacer funcionar una electrobomba, para aumentar la producción agrícola del establo. Está claro que es innegable el inmenso potencial con que cuenta la fotovoltaica en el mundo, también podemos encontrarla en dispositivos electrónicos como calculadoras, relojes y últimamente hasta en vehículos eléctricos motorizados y muchas otras aplicaciones.

La tecnología fotovoltaica está en constante evolución, buscando nuevos compuestos y materiales cada vez más eficientes y que ayuden a reducir el costo de fabricación que posibilite su masificación. Desde sus inicios con el descubrimiento del efecto fotovoltaico que según Tejada (2018), se logra convirtiendo la luz directamente en electricidad con materiales capaces de absorber fotones y convertirlos en electrones. Roldan (2013), menciona que en 1877 crean la primera célula fotovoltaica Willian Grylls Adam y Richard Evans Day, marcando un hito muy importante para investigadores venideros y principalmente brindan una ventana abierta a las posibilidades para generar electricidad sustentable que permita prescindir de los combustibles fósiles. Para 1962 el satélite Telstar es lanzado al espacio incorporando células fotovoltaicas capaces de producir 14W de potencia. La Unión Soviética por medio de Zhorés Alfiórov desarrolla una nueva célula solar de Arseniuro de Galio de alta eficiencia, que sería utilizada en su industria aeroespacial. Peña (2011), el Silicio es de lejos el mineral más utilizado para la fabricación de módulos fotovoltaicos, pero, existen otras tecnologías como sulfuro de cadmio (CdS), sulfuro de cobre (CuS), telurio de cadmio (CdTe), seleniuro de cobre e indio (SeCuIn), arseniuro de galio y últimamente células fotosensibles de origen orgánico. Las cuales debido a que su costo es elevado y otras son relativamente nuevas, tienen poca popularidad comercialmente.

La capacidad de los módulos fotovoltaicos se ha ido incrementando desde los 14W en 1962 hasta los más de 500W que son capaces de producir en la actualidad. Si bien pareciera que el avance no ha sido muy significativo, no olvidemos que

hablamos de una tecnología con la capacidad de convertir directamente la radiación solar en electricidad, generando un impacto en el ambiente de niveles casi cero. PROGENSA (2009), menciona que la luz del sol llega a la tierra en forma de irradiación solar de dos tipos, radiación solar directa y radiación solar difusa. Esta última es el resultado de la luz que al atravesar diversos “obstáculos” que pueden ser: las nubes, humo, vapor, polvo, entre otros, se difumina en el ambiente terrestre. Por su parte la radiación directa es la que logra llegar a la superficie terrestre directamente del sol. El sistema fotovoltaico presenta ventajas al poder hacer uso de esta energía solar, relativamente infinita y convertirla en electricidad. En el Atlas de Energía Solar del Perú (2003), se precisa los niveles de radiación solar que inciden en el territorio nacional y las zonas de más alta irradiancia. Según los valores mostrados el promedio se ubica entre 4.5 KWh/m<sup>2</sup> y 6.5 KWh/m<sup>2</sup>, siendo la costa el más favorecido con un índice de 6.0 KWh/m<sup>2</sup> a 6.5 KWh/m<sup>2</sup>. Los datos mostrados anteriormente resultan ventajosos para el Perú en su afán de aprovechar la energía solar. Prieto (2018), resalta que inclinarse por la producción de electricidad haciendo uso de módulos fotovoltaicos en áreas rurales, representa un ahorro significativo de dinero. Vásquez y Gamio (2018), se menciona que se posee un gran potencial para generar electricidad en el Perú a partir de las energías renovables y que las subastas de las misma deberían darse en corto plazo.

A pesar de las ventajas que tiene el país en referencia a la exposición de irradiación solar, existen también limitaciones que continúan retrasando el desarrollo masivo y la producción de electricidad con tecnología fotovoltaica. La normatividad es un factor muy importante por el que no termina de despegar las RER y es que, si bien es cierto el Perú ha firmado acuerdos y leyes que promocionan el uso de la energía solar. Como, por ejemplo, el Decreto Ley N° 1002, del año 2008, declarando de interés nacional y publica necesidad el desarrollar electricidad a partir de la utilización de Recursos Energéticos Renovables (RER), al tiempo que define autoridades competentes y se establece mecanismo para la promover proyectos con RER. Decreto supremo N° 012-2011-EM, con el cual se dictan los criterios técnico-económicos y de detalle de los alcances de la Ley N° 1002 con relación a la producción de electricidad RER para la venta al Sistema Interconectado Nacional. En el año 2016 el Perú ratifica su compromiso pactado en el 2015 referente al Acuerdo de París a fin de hacer más fuerte la respuesta al cambio

climático, se plantea también que se necesita de los recursos tecnológicos y financieros para ayudar a países en desarrollo a superar la dependencia de combustibles fósiles y cambiar a recursos renovables. Por su parte, el Decreto Supremo N° 020-2013-EM, aplica disposiciones para reglamentar la promoción y aprovechamiento de los Recursos Energéticos Renovables y mejorar la calidad de vida de los ciudadanos que residen en áreas no conectada a la red. Ley N° 28832, que se publica en julio del 2003 permite a un usuario cualquiera inyectar el excedente de energía generada por un sistema fotovoltaico u otra forma de generación renovable a la red de distribución pública. Esto suena muy bien y prometedor, a no ser porque, según la Revistaenergía (2019), indica que la Resolución Ministerial N° 292-2018-MEM/DM, publicada con fecha 02 de agosto de 2018, que contiene la pre-publicación del Decreto Supremo que aprueba el Reglamento de la Generación Distribuida en el Perú, ha quedado en eso, una pre-publicación y para finales del año 2019 aún no se había publicado la reglamentación definitiva. Como se puede notar en las disposiciones legales, por un lado, existen normativas y legislación que se esfuerzan por promover el aprovechamiento de energías no convencionales que tienen el potencial de ser rentables, viables y amigables con el ambiente, a la vez que se cumplen con los acuerdos pactados con la comunidad internacional. Por el otro lado está la pasividad de algunos legisladores que entorpecen el avance para lograr el objetivo propuesto.

## V. CONCLUSIONES

La energía solar fotovoltaica desde sus inicios, casi a la par de la era espacial avizoraba grandes posibilidades para su aplicabilidad. Fue incorporada en el Vanguard 1, primer satélite que utilizó paneles solares y fue todo un éxito, desde aquellos tiempos hasta los inmensos parques fotovoltaicos en la actualidad, esta tecnología ha demostrado que tiene el potencial para convertirse en la energía del futuro.

Obtener electricidad directamente de la luz solar sin mayores procesos que una plancha de Silicio apuntando en dirección al sol, significa que la tecnología utilizada debe ser eficiente, y en la medida que se vuelva más accesible la tecnología se desarrollará mucho más, obteniendo más ventajas y mejorando las capacidades de los módulos. El Silicio continúa siendo el mineral preferido por su buena relación rendimiento-precio.

La normativa para el aprovechamiento de recursos renovables es relativamente nueva en el país y nace con la finalidad de cumplir acuerdos internacionales y los objetivos que dichos acuerdos plantean, aun así, no resultan suficientes, al parecer no tanto por falta de legislación, sino por el aparente desinterés de las autoridades encargadas de hacerlos cumplir, desperdiciando el enorme potencial con el que cuenta el territorio con relación a la Energía Renovable.

## **VI. RECOMENDACIONES**

Las casas de estudio tienen la oportunidad de formar profesionales que se involucren de manera activa para mejorar esta tecnología por medio de la investigación, desarrollo y pruebas de campo.

Brindar a la empresa privada dedicada a la comercialización de equipos fotovoltaicos y relacionados la oportunidad de acceder a estímulos fiscales con el fin de que ofrezcan precios accesibles, y más personas se interesen por implementar esta tecnología.

El estado, a través de los distintos organismos que lo conforman está en la capacidad de promover, implementar y desarrollar legislación que ayude a que la tecnología solar fotovoltaica sea aprovechada masivamente en el país, convirtiéndolo en un referente de las nuevas energías sostenibles.

## REFERENCIAS

- ARÉVALO NAVARRO, P., HORNA AREDO, E.F., REYES COLCHADO, C.A. y ROJAS TARRILLO, E., [sin fecha]. *Diseño de sistema fotovoltaico para la generación de energía eléctrica en vivienda unifamiliar en el Distrito de Tarapoto – San Martín -2019*. S.l.: s.n.
- ARIAS, F17:51:06 UTC. *El Proyecto de Investigación*. [en línea]. Sexta edición. Caracas-Venezuela: Epistemes. [Consulta: 13 junio 2020]. ISBN 980-07-8529-9. Disponible en: <https://es.slideshare.net/fidiasarias/fidias-g-arias-el-proyecto-de-investigacin-6ta-edicin>.
- Autosolar | La Tienda de la Energía Solar. [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 19 junio 2020]. Disponible en: <https://autosolar.pe/>.
- BALESTRINI, MIRÍAN, [sin fecha]. *Como Se Elabora El Proyecto de Investigacion - Ballestrini.pdf*. Septima. Caracas: BL Consultores Asociados. ISBN 980-6293-03-7.
- BASTERRA, M., CASTRO LEGARZA, U. y ÁLVAREZ PELEGRY, E., 2017. Instalaciones fotovoltaicas aisladas y conectadas a la red eléctrica. , pp. 39. ISSN 2340-7638.
- BERNARDELLI, F., [sin fecha]. Energía Solar Termodinámica en América Latina: los casos de Brasil, Chile e México. , pp. 49.
- CASTRO, V.W., [sin fecha]. *Diseño de un sistema fotovoltaico para abastecer la demanda de energía eléctrica a la granja avícola San Jorge para reducir los costos de combustible en el Caserío Uña de Gato Jaén*. S.l.: s.n.
- CHÁVEZ, E.A. y MALAVER, M., [sin fecha]. LOS CONCEPTOS DE CALOR, TRABAJO, ENERGÍA Y TEOREMA DE CARNOT EN TEXTOS UNIVERSITARIOS DE TERMODINÁMICA. , pp. 12.
- CHUMBES, A. et al., 2017. Plan de negocios para la generación de energía renovable – Tecnología solar. pp. 68.
- CIEZA, J., 2017. *DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS DE ALUMBRADO EN EL HOSTAL LANCELOT UBICADO EN CHICLAYO - CHICLAYO - LAMBAYEQUE*. Lambayeque - Perú: s.n.
- COORDINADORA DEL PROYECTO SENAMHI - MEM, 2003. *ATLAS DE ENERGÍA SOLAR DEL PERÚ* [en línea]. 2003. S.l.: s.n. [Consulta: 1 junio 2020]. Disponible en: <http://docshare01.docshare.tips/files/5520/55209028.pdf>.
- DAMIA SOLAR. [en línea], 2020. [Consulta: 26 junio 2020]. Disponible en: <https://www.damiasolar.com/blog>.
- DIARIO OFICIAL EL PERUANO, 2005. Ley N° 28546. *16 de junio del 2005*, pp. 2.

- DIARIO OFICIAL EL PERUANO, 2008. Decreto Legislativo N° 1002. [en línea]. [Consulta: 10 julio 2020]. Disponible en: <http://www.leyes.congreso.gob.pe/Documentos/DecretosLegislativos/01002.pdf>.
- DIARIO OFICIAL EL PERUANO, 2011. Decreto Supremo 012-2011-EM. [en línea]. [Consulta: 10 julio 2020]. Disponible en: [http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4\\_uibd.nsf/80432037C4A1D6CD05257CC200763782/\\$FILE/DS\\_012\\_2011EM.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/80432037C4A1D6CD05257CC200763782/$FILE/DS_012_2011EM.pdf).
- DIARIO OFICIAL EL PERUANO, 2013. Decreto Supremo N° 020-2013. [en línea]. [Consulta: 10 julio 2020]. Disponible en: [http://www.minem.gob.pe/archivos/legislacion-ii6gzz80z3b-DS\\_020-2013.pdf](http://www.minem.gob.pe/archivos/legislacion-ii6gzz80z3b-DS_020-2013.pdf).
- DÍAZ SANTOS, R., GERARD, H., CASTRO FERNÁNDEZ, M. y HERRERA ACOSTA, B., 2012. SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO A LA RED ELÉCTRICA, SU DISEÑO . . S.l.: s.n.,
- ELPERIODICODELAENERGIA.COM, [sin fecha]. Las 20 mayores plantas fotovoltaicas del mundo: India manda en el ranking y España entra en el Top 20. [en línea]. [Consulta: 11 junio 2020]. Disponible en: <https://elperiodicodelaenergia.com/las-10-mayores-plantas-fotovoltaicas-del-mundo/>.
- *ENERGÍAS RENOVABLES 2016 - REPORTE DE LA SITUACIÓN MUNDIAL - HALLAZGOS CLAVE* [en línea], 2016. 2016. Francia: s.n. [Consulta: 3 junio 2020]. ISBN 978-3-9815934-7-1. Disponible en: [https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/REN21\\_GSR2016\\_KeyFindings\\_sp\\_05.pdf](https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/REN21_GSR2016_KeyFindings_sp_05.pdf).
- GONZÁLEZ PEÑAFIEL, G.G., ZAMBRANO MANOSALVAS, J.C. y ESTRADA PULGAR, E.F., 2014. *Estudio, diseño e implementación de un sistema de energía solar en la comuna Puerto Roma de la Isla Mondragon del golfo de Guayaquil, provincia del Guayas*. S.l.: s.n.
- GUREVICH, Y., 2013. *Fenómenos de contacto y sus aplicaciones en celdas solares*. S.l.: Fondo de Cultura Economica. ISBN 978-607-16-1296-0.
- INEI, 2017. *Encuesta Nacional de Programas Presupuestales 2011 - 2016* [en línea]. Lima - Perú: s.n. [Consulta: 29 junio 2020]. Disponible en: [https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitales/Est/Lib1442/libro.pdf](https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1442/libro.pdf).
- IPCC SECRETARIAT, 2004. *16 Years of Scientific Assessment in Support of the Climate Convention* [en línea]. 2004. S.l.: s.n. [Consulta: 19 mayo 2020]. Disponible en: <https://archive.ipcc.ch/pdf/10th-anniversary/anniversary-brochure.pdf>.
- JARA F, C.L., 2018. *IMPLEMENTACIÓN DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA PARA OPTIMIZAR EL COSTO POR CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EDIFICIO*

*MULTIFAMILIAR DEL DISTRITO DE BAÑOS DEL INCA CAJAMARCA*. Trujillo - Perú: s.n.

- MEM - DEP, 2006. *Electrificación Rural a base de Energía Fotovoltaica en el Perú* [en línea]. agosto 2006. S.l.: s.n. [Consulta: 27 junio 2020]. Disponible en: [http://dger.minem.gob.pe/archivos/309\\_Inf\\_ProgNacionales.pdf](http://dger.minem.gob.pe/archivos/309_Inf_ProgNacionales.pdf).
- Ministerio de Energía y Minas - Electricidad. [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 15 mayo 2020]. Disponible en: <http://www.minem.gob.pe/publicacion.php?idSector=6&idPublicacion=517>.
- NATHAN S. y LEWIS, 2007. Toward Cost-Effective Solar Energy Use. *Science*, vol. 315, no. 5813, pp. 798-801. ISSN 0036-8075, 1095-9203. DOI [10.1126/science.1137014](https://doi.org/10.1126/science.1137014).
- OSINERGMIN, 2017. *La industria de la electricidad en el Perú: 25 años de aportes al crecimiento económico del país* [en línea]. Primera. Lima, Perú: GRÁFICA BIBLOS S.A. [Consulta: 22 mayo 2020]. ISBN 978-612-47350-0-4. Disponible en: [https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro\\_documental/Institucional/Estudios\\_Economicos/Libros/Osinergmin-Industria-Electricidad-Peru-25anos.pdf](https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/Libros/Osinergmin-Industria-Electricidad-Peru-25anos.pdf).
- PEÑA ASENSIO, L., [sin fecha]. *Células solares transparentes: desarrollo actual y aplicaciones*. S.l.: s.n.
- PÉREZ HERRERA, E., 2016. *Diseño de un sistema fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica al anexo piedras coloradas, Cajamarca, 2016* [en línea]. S.l.: Universidad César Vallejo. [Consulta: 14 mayo 2020]. Disponible en: <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/UCV/8925>.
- PERPIÑAN LAMIGUEIRO, O., 2018. *Energía Solar Fotovoltaica*. 2018. S.l.: s.n.
- POWER PORTO, GEORGE, 2009. El calentamiento global y las emisiones de carbono. , pp. 27. ISSN 1025-9929.
- PRIETO A, E.R., 2018. Vivienda Rural Ecoamigable. *Informador Técnico; Cali*, vol. 82, no. 2, pp. 283-292. ISSN 0122056X. DOI <http://dx.doi.org/10.23850/22565035.1502>.
- PROGNSA, 2009. *La energía solar - Aplicaciones prácticas*. Quinta edición. España: Artes Gráficas Gala, S.L. ISBN 978-84-95693-50-1.
- PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO, [sin fecha]. Objetivo 7: Energía asequible y No contaminante | PNUD. *UNDP* [en línea]. [Consulta: 10 junio 2020]. Disponible en: <https://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals/goal-7-affordable-and-clean-energy.html>.

- *REVISTAENERGIA.PE* [en línea], 2019. [Consulta: 10 julio 2020]. Disponible en: <https://revistaenergia.pe/peru-demora-el-nuevo-reglamento-para-incentivar-generacion-distribuida/>.
- RJ CONSULTORES, 2018. Energía solar fotovoltaica. *RJ Consultores* [en línea]. [Consulta: 19 junio 2020]. Disponible en: <https://www.rjconsultores.es/energia-solar-fotovoltaica/>.
- ROLDÁN, J., 2013. *Energías renovables. Lo que hay que saber*. S.l.: Ediciones Paraninfo, S.A. ISBN 978-84-283-2968-2.
- SALAMANCA-AVILA, S., 2017. Propuesta de diseño de un sistema de energía solar fotovoltaica. Caso de aplicación en la ciudad de Bogotá. *Revista científica*, vol. 3, no. 30, pp. 263. ISSN 2344-8350, 0124-2253. DOI [10.14483/23448350.12213](https://doi.org/10.14483/23448350.12213).
- SALAZAR, Et al., 2016. La energía solar, una alternativa para la generación de energía renovable. pp. 10.
- SANCHEZ BARBOSA, M., 2017. *Diseño de un suministro eléctrico con energía solar fotovoltaica para mejorar la productividad de equipos de bombeo agrícola del establo GESA - Lambayeque, 2016*. Trujillo - Perú: Universidad Cesar Vallejo.
- TEJADA MOSQUEA, J., 2018. *Caracterización de módulos fotovoltaicos de diversas tecnologías mediante la automatización de un sistema de medida instalado en un seguidor solar*. Cartagena: s.n.
- UNITED NATIONS CLIMATE CHANGE, [sin fecha]. El acuerdo de París | CMNUCC. *El Acuerdo de París* [en línea]. [Consulta: 10 julio 2020]. Disponible en: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>.
- UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA EXPERIMENTAL LIBERTADOR y VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y POSTGRADO, 216d. C. *Manual de Trabajos de Grado de Especialización y Maestría y Tesis Doctorales*. 5ª edición, 2016. Caracas: Fondo Editorial de la Universidad Pedagógica Experimental Libertador. ISBN 980-273-441-1.
- VÁSQUEZ BACA, U. y GAMIO AITA, P., 2018. TRANSICIÓN ENERGÉTICA CON ENERGÍAS RENOVABLES PARA LA SEGURIDAD ENERGÉTICA EN EL PERÚ: UNA PROPUESTA DE POLÍTICA PÚBLICA RESILIENTE AL CLIMA. *Espacio y Desarrollo*, no. 31, pp. 193-. ISSN 1016-9148. Gale Academic OneFile
- WWW.ENEL.PE, [sin fecha]. Enel inaugura Rubí, la planta solar más grande del Perú. [en línea]. [Consulta: 27 junio 2020]. Disponible en: <https://www.enel.pe/content/enel->

[pe/es/megamenu/conoce-enel/prensa/press/2018/03/enel-inaugura-la-planta-solar-mas-grande-del-peru.html](http://pe/es/megamenu/conoce-enel/prensa/press/2018/03/enel-inaugura-la-planta-solar-mas-grande-del-peru.html).

## **ANEXOS**

## Matriz Operacional

Variable	Definición conceptual	Objetivos específicos	Categorías	Sub categorías	Unidad de análisis
Energía Solar Fotovoltaica	Fenómeno por el que los fotones, incidiendo sobre determinados materiales y en condiciones apropiadas, pueden generar una diferencia de potencial o voltaje susceptible de mantener una corriente eléctrica. (PROGENSA, 2009)	Describir el estado del arte de la energía solar fotovoltaica	El estado del arte	Inicios Clasificación de sistemas fotovoltaicos. Componentes Características Aplicaciones	Roldan (2003) RJ Consultores (2018) Basterra et al (2017) Arévalo et al (2019) Cieza (2017) Salamanca (2017) Díaz et al (2012) Sánchez (2017) Jara (2018)
		Definir el estado actual de la tecnología fotovoltaica	Tecnología fotovoltaica	Innovación Capacidad Ventajas	Roldan (2003) Peña (2011) PROGENSA (2009) Atlas energía solar del Perú (2003) Vasquez y Gamio (2018)
		Describir los factores que limitan el uso masivo de la energía solar fotovoltaica en el Perú	Limitaciones para el uso masivo de la energía solar fotovoltaica en el Perú	Normativa Costo Promoción	Acuerdo de Paris (2016) Objetivo de Desarrollo Sostenible (Decreto Ley 1002 (2008) Decreto Supremo N° 012-2011-EM Decreto Supremo N° 020-2013-EM Ley N° 28832 (2003) Revista energía (2019) Prieto (2018)

# ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE PANEL SOLAR POLICRISTALINO



## PANEL SOLAR 330W 72 CÉLULAS POLICRISTALINO

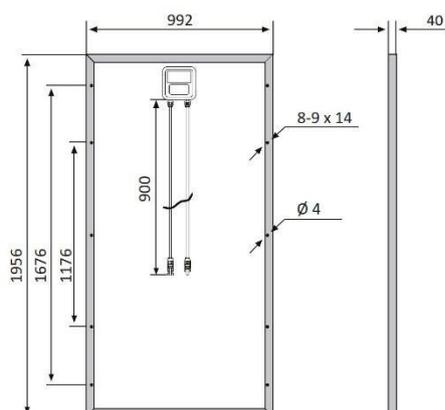
### Características

Tamaño del módulo	1956 x 992 x 40 mm
Células	72 piezas policristalinas (156 x 156 mm)
Cristal	Bajo contenido en hierro y templado (3,2 mm)
Potencia máxima (Wp)	330W
Cable	90cm, 4mm <sup>2</sup>
Voltaje en circuito abierto (Voc)	45.75V
Intensidad en cortocircuito (Isc)	9.3A
Voltaje a máxima potencia (Vm)	37.95V
Intensidad a máxima potencia (Im)	8.7A
Condiciones del test	1000W/m <sup>2</sup> , 25°C, AM 1.5
Voltaje máximo sistema	1000Vdc
Coefficiente temperatura – Isc	+0.08558%
Coefficiente temperatura – Uoc	-0.29506%
Coefficiente temperatura – Pmpp	-0.38001%
Temperatura normal trabajo célula	45°C
Eficiencia del módulo	17 %
Certificados de producto	TUV(IEC 61215, IEC 61730), CE
Certificados de la empresa	ISO9001, ISO14001, ISO18001
Peso	20.9 kg
Garantía del producto	10 años
Garantía de potencia	25 años

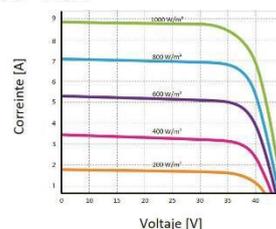
### BSP330P



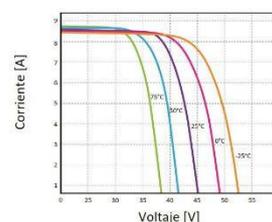
### Esquemas



### Curvas



Características de los módulos a temperaturas constantes de 25°C y niveles variables de irradiación



Características de los módulos a temperaturas variables e irradiación constante de 1.000W/m<sup>2</sup>



## PC1800F Series MPPT Solar

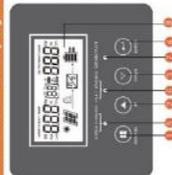
### Características:

- 60A/80A MPPT Regulador de carga solar (Ventilación forzada)
- 12V/24V/48V (auto detección); 36V(configurable)
- Eficiencia MPPT >99%, pico eficiencia conversión >98%
- Arquitectura de procesadores DSP que aseguran una gran velocidad y rendimiento.
- Carga en multi-etapas
- Protección: Cortocircuito en paneles, polaridad inversa en paneles y baterías sobrecarga, cortocircuito en la salida.
- Función de equalización
- Función BTS

### Introducción:

MPPT (Maximum Power Point Tracking) o bien seguidor de máxima potencia. Es un tipo de regulador de carga que ofrece un modo seguro y eficiente de carga de su batería. Este prolongará la vida de la misma y asegurará un rendimiento máximo de su instalación solar. Podremos configurarlo a nuestro gusto y visualizar sus datos con su pantalla LCD.

### Información Display LCD



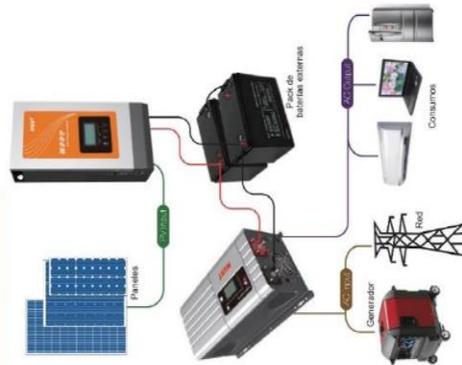
- 1.ON/MENU: Entrar o salir de menú de ajustes.
- 2.UP: Incrementar dato.
- 3.DOWN: Decrementar dato.
- 4.ENTER: Confirmar la selección en ajustes.
- 6.Display LCD.

Indicador LED	Mensaje
5. POWER ON CHARGING	El regulador está encendido Parpadeo Estado de carga: cargando (cada 0.5 seg).
6. FAULT/ WARNING	Encendido Parpadeo Si ha producido un fallo. Situación de advertencia.
7. WARNING FAULT	Parpadeo Encendido Polaridades de la batería no conectadas correctamente.



1. PV+ Terminal positivo paneles
2. PV- Terminal negativo paneles
3. BA+ Terminal positivo batería
4. BA- Terminal negativo batería
5. COM: Terminal de comunicación RS485
6. BTS: Terminal BTS
7. USB

### Conexión del sistema solar



# ESPECIFICACIONES TECNICAS DE CONTROLADOR SOLAR MPPT

## MPPT Solar

### Especificaciones

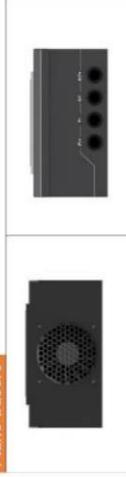
MODELO	PC1800F	PC1800F		
Voltaje nominal sistema baterías	12V	24V	36V	48V
Voltaje máximo entrada solar	100V	143V		
Rango de MPPT	15-95V	30-130V	45-130V	60-130V
Potencia máxima entrada paneles (12V)	600W			1300W
Potencia máxima entrada paneles (24V)	1875W			2500W
Potencia máxima entrada paneles (36V)	2810W			3750W
Potencia máxima entrada paneles (48V)	3750W			5000W
Configuraciones de carga	Estado de selección			
Fuente de batería	14.2V/28.4V/42.6V/56.8V			
Algoritmo de carga	14.4V/28.8V/43.2V/57.6V			
Voltaje de sobrecarga	15.5V/30.9V/46.3V/61.7V			
Voltaje recuperación de sobrecarga	14.5V/29.0V/43.5V/58.0V			
Voltaje bajo batería defectuosa	10.0V/17.0V/25.5V/34.0V			
Compensación temperatura	-3mV/°C (media 25°C ref)			
Pico de eficiencia de conversión	98% (MPPT Eficiencia 95%)			
Eficiencia corriente de carga	60 amperios constante @ 40°C ambiente			
Modo de ventilación	ventilación forzada			
Protecciones	Desconexión voltaje TV excesivo Recorrido voltaje TV excesivo Desconexión voltaje batería excesivo Desconexión voltaje batería excesivo Desconexión temperatura excesiva Reconexión temperatura excesiva			
Montaje	En pared			
Dimensiones (W*H*D)	132*107*29mm			
Peso (Kg)	3Kg/pcs			
Dimensiones paquete (W*H*D)	812*308*235.6mm			
Peso base (Kg) (por embalaje)	17.4Kg			
Lugar de instalación	Interior			
Rango temperatura de funcionamiento	-25-50°C			
Humedad ambiente	0-95% humedad relativa (sin condensación)			
Altitud	≤3000m			
Controlador (DCEP-400/80/160/320)	3000pcs / 6000pcs / 12000pcs			

\* Product specifications are subject to change without further notice.

### Lateral regulador



### Plano trasero



# CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA MÁS GRANDE DEL PERÚ



## CENTRAL SOLAR RUBÍ (144,48 MW)

<b>EMPRESA CONCESIONARIA</b>	ENEL GREEN POWER PERÚ S.A.		
<b>DESCRIPCIÓN</b>	La central tendrá una capacidad de 144,48 MW, que se obtendrá mediante la instalación de 560880 módulos fotovoltaicos de 320 W. La conexión al SEIN se realizará a través de la L.T. 220 kV S.E. Rubí - S.E. Montalvo, de simple circuito de 21,51 km.		
<b>UBICACIÓN</b>	Departamento: Moquegua Provincia: Mariscal Nieto Distrito: Moquegua Altitud: 1 410 msnm		
<b>DATOS DE LA CENTRAL</b>	Potencia Instalada: 144,48 MW N° de Módulos en serie: 30 Tipo de Módulos: Reizen Potencia de Módulos: 320 W N° de Inversores: 164 Tipo de Inversores: Fimer R11015TL Potencia de Inversores: 1,025 MVA Tensión de Salida de Inversores: 0,4 kV - AC Tipo de Estructura: Seguidor Horizontal de 1 eje Ángulo de Seguimiento: 45° N° de Centros de Transformación: 41 Potencia por Centro de Transformador: 3,524 MW Relación de Transformación: 0,4/33 kV		
<b>DATOS DEL TRANSFORMADOR</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	
Potencia Nominal	70/90 MVA	70/90 MVA	
Relación de Transformación	33/220 kV	33/220 kV	
Marca	Chint Eléctric	Chint Eléctric	
Año de Fabricación	2017	2017	
<b>DATOS DE CONTRATO</b>	<b>Suministro RER (4ta Subesta)</b>	<b>HITOS</b>	
Tipo de Contrato	Suministro RER (4ta Subesta)	Cierre Financiero	15.12.2015 (a)
Firma de Contrato	17.05.2016	Llegada de Equipos	18.08.2017 (a)
Energía Ofertada	415,00 GWh/año	Inicio de Obras	30.11.2016 (a)
Precio de la Energía Ofertada	47,98 US\$/MWh	Inicio de Montaje	31.05.2017 (a)
Puesta en Operación Comercial	30.01.2018	POC	30.01.2018 (a)
<b>INFORMACIÓN RELEVANTE</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>La Concesión Definitiva para desarrollar la actividad de generación eléctrica en la futura central de 144,48 MW, fue otorgada mediante R.M. N° 328-2017-MEM/DM del 02.08.2017.</li> <li>El 25.10.2017, el Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional (COES) aprobó el Estudio de Operatividad de la central.</li> <li>El proyecto cuenta con Certificado de Inexistencia de Restos Arqueológicos (CIRA) aprobado para la Central Solar Fotovoltaica, caminos de acceso y L.T. 220 kV S.E. Rubí - S.E. Montalvo.</li> <li>El 31.10.2017, el COES autorizó la Conexión para las Pruebas de Puesta en Servicio de la central.</li> <li>El 10.11.2017, se conectó por primera vez la C.S.F. Rubí con una potencia de 3,5 MW.</li> <li>Durante pruebas, el 29.01.2018, generó 152,6 MW.</li> <li>El avance físico global es de 100%.</li> <li>El 29.01.2018, el COES aprobó la Puesta en Operación Comercial de la C.S. Rubí, con una potencia instalada nominal de 144,48 MW, a partir de las 00:00 horas del 30.01.2018.</li> <li>El monto de inversión aproximado fue de 165 MM US\$, según lo indicado por la Concesionaria.</li> </ul>		
<b>DIAGRAMA UNIFILAR</b>			



Ubicación



Vista de los paneles solares



Caseta de inversores y transformadores



Subestación Rubí

SATELITE VANGUARD 1, FUE EL SEGUNDO SATELITE ESTADOUNIDENSE LANZADO AL ESPACIO Y EL PRIMERO EN EL MUNDO EN INCORPORAR PANELES SOLARES PARA SU FUNCIONAMIENTO.

